



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RG141536**

***APLIKASI UNDERWATER PHOTOGRAMMETRY  
UNTUK PEMETAAN CORAL REEF COVERAGE  
(STUDI KASUS: PASIR PUTIH, SITUBONDO,  
JAWA TIMUR)***

**ANDREAS CATUR WIBISONO**  
NRP 03311440000077

Dosen Pembimbing  
Agung Budi Cahyono, ST., M.Sc., DEA  
Dra. Dian Saptarini, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





TUGAS AKHIR - RG 141536

**APLIKASI *UNDERWATER PHOTOGRAMMETRY*  
UNTUK PEMETAAN *CORAL REEF COVERAGE*  
(STUDI KASUS: PASIR PUTIH SITUBONDO,  
JAWA TIMUR)**

ANDREAS CATUR WIBISONO  
NRP 03311440000077

Dosen Pembimbing  
Agung Budi Cahyono, ST., M.Sc., DEA  
Dra. Dian Saptarini., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



FINAL ASSIGNMENT- RG 141536

**APPLICATION OF UNDERWATER  
PHOTOGRAMMETRY FOR CORAL REEF  
COVERAGE MAPPING  
(CASE STUDY: PASIR PUTIH SITUBONDO,  
EAST JAVA)**

ANDREAS CATUR WIBISONO  
NRP 03311440000077

Supervisor  
Agung Budi Cahyono, ST., M.Sc., DEA  
Dra. Dian Saptarini., M.Sc

DEPARTEMENT OF GEOMATICS ENGINEERING  
Faculty of Civil, Enviromental and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **APLIKASI DARI UNDERWATER PHOTOGRAMMETRY UNTUK PEMETAAN CORAL REEF COVERAGE**

Name : Andreas Catur Wibisono  
NRP : 03311440000077  
Departemen : Geomatics Engineering  
Dosen Pembimbing : Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc, DEA  
: Dra. Dian Saptarini., M.Sc

### **ABSTRAK**

*Terumbu karang merupakan salah satu fitur dasar laut yang memiliki beberapa fungsi penting, diantaranya sebagai fungsi pariwisata, perlindungan dan biodiversity. Proses dalam melakukan rehabilitasi dan pengamatan terumbu karang masih relatif sulit, banyak metode baru telah muncul akan tetapi masih memiliki dukungan yang sedikit. Metode yang dipakai tersebut adalah berupa metode underwater photogrammetry. Metode ini nantinya akan berujuan dalam pemetaan coral reef coverage.*

*Dalam penerapannya metode underwater photogrammetry ini menggunakan prinsip algoritma SfM (Structure from Motion) dalam membentuk rekonstruksi 3D dari terumbu karang yang akan dihasilkan berdasarkan pada gerakan obyek dan pencarian titik sekutu. Pengukuran secara geodetik juga dilakukan untuk mendukung titik kontrol dari model yang akan dihasilkan. Analisa yang akan dilakukan berupa analisa geometrik dengan menggunakan uji-t dan uji F. Hasil akan dianalisa menggunakan metode pengamatan biologi, yakni LIT(Line Intercept Transect).*

*Dari hasil pengolahan, diperoleh peta orthophoto dengan GSD 0,395 mm dan skala 1:100, pemodelan terumbu karang diperoleh bahwa pemodelan 3D memiliki hasil ketelitian 0,038 m dan kesalahan linier dimana bila diujikan dengan uji-t menghasilkan < 50% data yang masuk, baik pada derajat kepercayaan 95% dan pada 99%. Uji F menghasilkan nilai positif dimana nilai titik yang*

*digunakan pada uji kesalahan linier pada marker L dan marker K, masuk dalam  $\alpha = 0,05$ . Model 3D yang dihasilkan masih memiliki kekurangan, namun secara 2D telah cukup sebagai alternatif dari metode LIT.*

***Kata Kunci: Underwater Photogrammetry, Terumbu Karang, Structure from Motion.***



# APPLICATION OF UNDERWATER PHOTOGRAMMETRY FOR CORAL REEF COVERAGE MAPPING

Name : Andreas Catur Wibisono  
Registration Number : 03311440000077  
Departement : Geomatics Engineering  
Supervisor : Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc, DEA  
: Dra. Dian Saptarini., M.Sc

## ABSTRACT

*Coral reef is one of seabed feature that has several important functions, such as tourism, protection, and biodiversity. The process of rehabilitating and observing coral reefs is still rather difficult, several new methods have been appearing, but still have less impact. Underwater photogrammetry is a more extended technique from aerial photograph. This method will be aimed at mapping the coral reef coverage. In this application, underwater photogrammetry method used SfM principle (Structure from Motion) in forming 3D reconstruction of coral reefs that will be generated from photos. Geodetic measurements also performed to the model for control point. The analysis will be divided into t-test and F-test. From the processing, coral reef modeling has obtained the result of a linear error which t-test produce <50% data, both at 95% and at 99 % confidence level. The F-test gain a positive value where the point value used in the linear error test on marker L and K, the value at  $\alpha = 0.05$ . The resulting orthophoto with scale 1:100 and GSD 0.395 mm, 3D coral reef model still has some flaws, but in 2D view has been comfortable to be an alternative besides LIT method. Underwater photogrammetry technique can be applied for coral reef mapping.*

***Keywords: Underwater Photogrammetry, Coral reef, Structure from Motion.***

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LEMBAR PENGESAHAN

### APLIKASI UNDERWATER PHOTOGRAMMETRY UNTUK PEMETAAN CORAL REEF COVERAGE

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ANDREAS CATUR WIBISONO**

NRP. 03311440000077

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc, DEA

NIP. 19690520 199903 1 002

Dra. Dian Saptarini, M.Sc

NIP. 19690408 199203 2 001

(.....)

(.....)

SURABAYA 30 JULI 2018



***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Aplikasi Underwater Photogrammetry untuk Pemetaan Coral Reef Coverage** dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyampaikan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan memberikan kontribusi hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan kepada

1. Orang tua dan segenap keluarga penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan baik moril dan materil.
2. Bapak Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA dan Ibu Dra. Dian Saptarini., M.Sc yang membimbing penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, S.T, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
4. Bapak Yanto Budi Susanto, S.T., M..Eng. selaku Koordinator Tugas Akhir.
5. LPPM-ITS yang telah mendanai kegiatan survei di lapangan.
6. NPC LAB Indonesia yang telah memberikan kesempatan untuk mengambil data di Pasir Putih Situbondo.
7. Kepala pengelola Pasir Putih, dan Tim Pak Budi Rahman yang telah membantu penulis dalam akusisi data.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta civitas akademik Teknik Geomatika ITS yang turut membantu dalam memudahkan dan melancarkan segala aktivitas di kampus.
9. Seluruh rekan seperjuangan angkatan 2014 (G16) yang telah membantu dan berjuang selama 4 tahun ini.

10. Rizki Indra P, Tara, Karisma, Kevin, Fauzan, Ulin, Hanna, Vinny, Irhas, Dimas, Bustam, dan serta Teman-teman penulis, yang mendukung dalam suka maupun duka.
11. Tim Kono(haru) Yan, Denny, Niko, Rindy, Mirekel, Adit yang telah menemani penulis.
12. Rekan *Photogrammetry Visual Image Analysis* (PVIA) atas ilmu, pengalaman dan bantuannya selama pengerjaan tugas akhir ini.
13. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis berharap agar laporan Tugas Akhir ini dapat dibaca oleh semua pihak dan dapat memberikan tambahan wawasan serta bermanfaat.

**Surabaya, Juli 2018**

**Andreas Catur Wibisono**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>COVER PAGE .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I   PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian Tugas Akhir .....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir .....	3
<b>BAB II   TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Pengertian Terumbu Karang .....	5
2.2 Monitoring Terumbu Karang .....	6
2.2.1 Monitoring Terumbu Karang Metode <i>LIT</i> .....	6
2.3 Teknologi Fotogrametri Jarak Dekat .....	9
2.3.1 <i>Underwater Photogrammetry</i> .....	11
2.4 Metode <i>Structure from Motion</i> .....	12
2.5 Kalibrasi Kamera .....	13
2.5.1 Kalibrasi dari Kamera untuk Keperluan <i>Underwater</i> .....	14

2.5.2 Calibration Model dan <i>Undistorted Images</i> .....	15
2.6 Titik Kontrol .....	16
2.7 Penelitian Terdahulu .....	18
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	21
3.1 Lokasi Penelitian.....	21
3.2 Data dan Peralatan.....	22
3.2.1 Data .....	22
3.3 Metodologi Penelitian .....	24
3.3.1 Tahap Pengolahan Data.....	28
3.3.2 Tahap Analisa .....	32
3.3.3.Tahap Akhir.....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	37
4.1 Hasil .....	37
4.1.1 Titik Kontrol dari Pengukuran GPS.....	37
4.1.2 Titik Kontrol dari Pengukuran <i>Total Station</i> .....	38
4.1.3 Kalibrasi Kamera .....	38
4.1.4 Hasil Uji Kesalahan Linier .....	41
4.1.5 Sampel Hasil Pemotretan .....	45
4.1.6 Model 3D.....	45
4.1.7 <i>Orthophoto</i> .....	48
4.1.8 Peta Terumbu Karang .....	48
4.2 Analisa.....	49
4.2.1 Analisa Hasil Pengukuran Titik Kontrol Darat .....	49
4.2.2 Analisa Hasil Pengukuran Total Station .....	49
4.2.3 Analisa Hasil Kalibrasi Kamera .....	52



4.2.4 Pengolahan Model 3D .....	53
4.2.5 Analisa Hasil Uji Linier .....	57
4.2.6 Hasil Analisa <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode <i>LIT</i> .....	60
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran.....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>75</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>94</b>

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Terumbu Karang .....	5
Gambar 2.2	Kegiatan Monitoring dengan Metode <i>LIT</i> .....	7
Gambar 2.3	Model Pengamatan Metode <i>LIT</i> .....	8
Gambar 2.4	Prinsip Pengukuran pada Fotogrametri .....	10
Gambar 2.5	Proyeksi Prespektif .....	10
Gambar 2.6	Efek Pembiasan pada Sensor Kamera .....	12
Gambar 2.7	Ilustrasi pada Metode <i>SfM</i> .....	13
Gambar 2.8	Metode Kalibrasi .....	14
Gambar 2.9	Hasil Kalibrasi .....	16
Gambar 2.10	Metode dalam Sistem Koordinat pada Fotogrametri Jarak Dekat .....	17
Gambar 3.1	Peta Lokasi Penelitian dan <i>Sample Data</i> .....	21
Gambar 3.2	Diagram Alir Tugas Akhir .....	24
Gambar 3.3	Diagram Alir Pengolahan Data.....	29
Gambar 4.1	Lokasi Titik di Lapangan .....	37
Gambar 4.2	Data untuk Kalibrasi Kamera .....	39
Gambar 4.3	Perbandingan Gambar yang Telah Dikalibrasi....	39
Gambar 4.4	<i>Error</i> Piksel .....	40
Gambar 4.5	Orientasi Kalibrasi .....	40
Gambar 4.6	Sketsa Model dalam Penentuan Kesalahan Linier .....	41
Gambar 4.7	Contoh Foto Terumbu Karang pada Area Pemetaan .....	45
Gambar 4.8	<i>Alignment</i> Foto .....	46
Gambar 4.9	Bentuk 3D Model.....	46
Gambar 4.10	<i>DEM</i> .....	47
Gambar 4.11	Profil Memanjang Terumbu Karang .....	47
Gambar 4.12	<i>Orthophoto</i> .....	48
Gambar 4.13	Analisa Data GPS .....	49
Gambar 4.14	<i>Error Elips</i> Titik Kontrol .....	50
Gambar 4.15	Dokumentasi Titik Kontrol di Lapangan.....	51

Gambar 4.16 Hasil Kalibrasi <i>Matlab</i> .....	52
Gambar 4.17 Arah Distorsi pada Lensa .....	52
Gambar 4.18 <i>Overlaps</i> dari Dua Foto.....	54
Gambar 4.19 <i>Dense Cloud Model</i> . ....	55
Gambar 4.20 Jalur Pemotretan .....	56
Gambar 4.21 Contoh Area <i>Blank Spot</i> pada Foto Tegak yang Dihasilkan.....	57
Gambar 4.22 <i>Marker L</i> .....	57
Gambar 4.23 <i>Marker K</i> .....	58
Gambar 4.24 Grafik F untuk <i>Marker L</i> .....	59
Gambar 4.25 Hasil Uji- F untuk <i>Marker K</i> .....	60
Gambar 4.26 Diagram Tutupan Karang Hidup dari Data <i>Underwater Photogrammetry</i> .....	60
Gambar 4.27 Diagram Keanekaragaman <i>Life Form</i> <i>Underwater Photogrammetry</i> .....	61
Gambar 4.28 Diagram Tutupan Karang Hidup Pengamatan Langsung.....	62
Gambar 4.29 <i>Life Form</i> pada Pengamatan Langsung.....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Kerusakan Terumbu Karang .....	9
Tabel 2.2 Perbedaan Metode Kalibrasi <i>Underwater</i> .....	15
Tabel 2.3 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya .....	19
Tabel 4.1 Koordinat Titik Kontrol Darat .....	37
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran <i>Total Station</i> .....	38
Tabel 4.3 Kesalahan pada <i>Marker L</i> .....	42
Tabel 4.4 Kesalahan pada <i>Marker K</i> .....	43
Tabel 4.5 Koefisien Kalibrasi pada Model .....	53
Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Analisa <i>LIT</i> .....	64
Tabel 4.7 Hasil Perbandingan Metode .....	65

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengolahan GPS .....	75
Lampiran 2. Dokumentasi Data Pengolahan TS.....	76
Lampiran 3. Perhitungan Uji-t pada <i>Marker L</i> .....	77
Lampiran 4. Perhitungan Uji-t pada <i>Marker K</i> .....	79
Lampiran 5. Contoh Klasifikasi Data Karang .....	83
Lampiran 6. Pengukuran GPS .....	89
Lampiran 7. Pengukuran Total Station .....	89
Lampiran 8. Pemasangan <i>Marker</i> .....	90
Lampiran 9. Kalibrasi Kamera .....	90
Lampiran 10. Spesifikasi GPS.....	91
Lampiran 11. Spesifikasi <i>Total Station</i> .....	92
Lampiran 12. Spesifikasi Kamera.....	93

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia berada di pusat segitiga karang, yakni suatu kawasan terumbu karang dengan keanekaragaman hayati laut tertinggi di dunia. Luas terumbu karang Indonesia mencapai 39583 km<sup>2</sup> atau sekitar 45,7% dari total 86503 km<sup>2</sup> luas terumbu di wilayah segitiga karang, dengan puncak keanekaragaman hayati tertinggi antara lain 590 spesies karang batu dan 2200 spesies ikan karang (Giyanto 2017). Namun dilaporkan bahwa dari kombinasi ancaman lokal dan akibat perubahan suhu dan *bleaching*, hampir 45% terumbu karang Indonesia berada dalam ancaman tinggi hingga sangat tinggi (Huffard dkk 2012 dalam Giyanto 2014). Apabila kerusakan terumbu karang semakin parah dan tidak ada batu karang yang menghasilkan sedimen kapur, maka fungsi dari terumbu karang sebagai pemecah ombak akan berkurang karena semakin dalamnya air dan abrasi yang intensif. Melihat dari permasalahan terjadi maka diperlukan suatu usaha dalam menjaga kelestarian yang ada. Berdasarkan atas Peraturan Pemerintah no 60 tahun 2007, pasal 5, pemerintah telah memiliki program konservasi ekosistem terkait dengan sumber daya ikan, pelestarian dan monitoring terumbu karang. Namun dalam pelaksanaan masih memiliki kendala dan keterbatasan dalam sumber daya dan teknologi.

Terdapat beberapa penelitian dan metode yang digunakan dalam kegiatan monitoring terumbu karang, seperti metode *Line Intercept Transect (LIT)* yang menghasilkan data dengan mendetail namun dengan waktu yang lebih lama serta dibutuhkan peralatan *scuba* (English dkk 1997, Mundy 1990, Hill and Wilkinson 2004, Oliver dkk 2004), (Raoult, dkk 2016) dengan penelitian berjudul *GoPros™ as an underwater photogrammetry tool for citizen science* menggunakan metode fotogrametri bawah air untuk melakukan perbandingan dengan

pengamatan *snorkeling* tradisional, dimana masih dibatasi dengan stamina dari para penyelam (Leo, J.X, dkk 2015). dengan judul “ *Measuring coral reef terrain roughness using ‘Structure-from-Motion’ close-range photogrammetry*” mengaplikasikan fotogrametri bawah air dengan metode *SfM* untuk menghitung nilai *roughness* dari terumbu karang dan hubungannya terhadap transfer massa di laut.

Teknologi fotogrametri dengan algoritma *Structure from Motion (SfM)* adalah perkembangan dari *computer vision* dimana mengkombinasikan bidang ilmu matematis dengan teknik sehingga diperoleh model 3 dimensi dan penampakan objek secara visual (Szeliski 2010). Aplikasi dari algoritma *SfM* mulai berkembang, salah satu dari penerapannya algoritma ini adalah pemetaan dari fitur dasar laut seperti kapal karam dan terumbu karang. Dengan algoritma *SfM*, terumbu karang dapat digambarkan kenampakannya dalam tiga dimensi, sehingga mampu menyediakan citra bawah air dengan resolusi tinggi.

Pada penelitian ini dilakukan studi untuk mengaplikasikan fotogrametri bawah air untuk pemetaan *coral reef coverage*. *Coral reef coverage* adalah tutupan dari permukaan terumbu karang yang ditumbuhi *stony coral*. Aplikasi dari hasil pemetaan diuji dengan nilai geometrik dan dilakukan interpretasi dengan metode *LIT*. *Output* dari penelitian ini memberikan gambaran berupa peta *surface* yang tergeoreferensi titik kontrol sebagai acuan pengukuran. Hasil akhir dari penelitian dapat digunakan sebagai salah satu referensi dalam melakukan pengembangan dan penelitian terhadap terumbu karang yang lebih efisien dari aspek waktu, tenaga dan biaya serta dapat mempertahankan kualitas dari data yang diperoleh.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana hasil yang diperoleh dalam penggambaran tutupan *terumbu karang* dari aplikasi *Underwater Photogrammetry* ?
2. Bagaimana hasil data *Underwater Photogrammetry* ketika dianalisa dengan menggunakan metode *LIT*?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lingkup daerah penelitian adalah pantai Pasir Putih, kabupaten Situbondo dengan kedalaman 0-3 meter.
2. Kamera yang digunakan adalah *action camera*.
3. Kalibrasi kamera dilakukan secara *self calibration*.
4. Pemetaan *terumbu karang* menggunakan metode Fotogrametri dengan algoritma *Structure from Motion(SfM)*.
5. Koordinat titik kontrol 2D menggunakan hasil dari GPS Geodetik dan pengukuran *Total Station*.
6. Nilai koordinat Z (nilai kedalaman) menggunakan nilai dari pengukuran *Total Station*.

### **1.4 Tujuan Penelitian Tugas Akhir**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pemetaan permukaan bawah laut dengan metode fotogrametri.
2. Melakukan analisa ketelitian dari hasil pemodelan *terumbu karang*.

### **1.5 Manfaat Tugas Akhir**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu referensi dalam penelitian *terumbu karang* di kawasan Pantai Pasir Putih, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur.
2. Mendukung program pemerintah dalam pelestarian *terumbu karang* sesuai pasal 5 Peraturan Pemerintah no. 60 terkait konservasi ekosistem laut.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Terumbu Karang**

Terumbu Karang merupakan endapan *massive* kalsium karbonat (kapur) yang diproduksi oleh binatang karang dengan sedikit tambahan dari alga berkapur dan organisme-organisme lain penghasil kalsium karbonat. Terumbu karang termasuk dalam kelompok hewan dan bukan kelompok tumbuhan. Bintang karang ini termasuk ke dalam *phylum Cnidaria*, kelas *Anthozoa*, ordo *Scleractinia* (Sukmara, Siahainia dan Rotinsulu 2001).



Gambar 2.1 Terumbu Karang (Giyanto 2014)

Kondisi alam yang cocok untuk pertumbuhan karang terdiri atas beberapa faktor di antaranya adalah pada perairan yang bertemperatur diantara 18 - 30 C°, kedalaman air kurang dari 50 meter, salinitas air laut 30–36 per mil (‰), laju sedimentasi relatif rendah dengan perairan yang relatif jernih, pergerakan air/arus relatif tenang, perairan bebas dari pencemaran, dan substrat yang keras. Karang tidak bisa hidup di air tawar atau muara.

Terumbu karang sebagai salah satu fitur dasar laut alami yang cukup penting, kehadiran terumbu karang memiliki beberapa manfaat dan fungsi. Berikut beberapa fungsi yang diberikan adalah : (Sukmara, Siahainia dan Rotinsulu 2001)

- a. Fungsi Pariwisata
- b. Fungsi Perikanan
- c. Fungsi Perlindungan Pantai
- d. Fungsi *Biodiversity*

## 2.2 Monitoring Terumbu Karang

Kegiatan monitoring adalah kegiatan untuk melindungi keanekaragaman hayati dan perikanan yang berkelanjutan di daerah terumbu karang dari ancaman penangkapan yang berlebih dan penggunaan alat tangkap yang merusak lingkungan. Di Indonesia, Kawasan Konservasi Perairan(KKP) umumnya dikelola melalui pengembangan zonasi untuk keperluan yang berbeda dan perencanaan pengelolaan untuk melindungi keanekaragaman hayati, kesehatan karang dan populasi-populasi jenis ikan penting. (Wilson dan Green 2009) Kegiatan monitoring bisa menjadi acuan dalam menentukan tingkat kesehatan dari terumbu karang dan penelitian kedepan.

Terdapat beberapa teknik pemantauan dalam monitoring terumbu karang. Para ilmuwan menggunakan gambar satelit untuk mengamati terumbu karang pada daerah yang luas. Pada skala kecil, metode survei seperti transek, *manta tow*, *kuadrat*, pengambilan foto dan video transek dapat dilakukan. Dengan melakukan survei berbagai indikator kesehatan karang seperti penutupan karang, pemutihan, keragaman karang, ikan dan spesies invertebrata di sekitar karang dapat diukur. Pengukuran kesehatan mangrove dan ekosistem padang lamun juga termasuk dalam program pemantauan (Dean dan Kleine 2011).

Pada metode survei transek, teknik *LIT*(*Line Intercept Transect*) merupakan salah satu metode dalam pengamatan terumbu karang sering digunakan. Pengamatan jenis ini sering digunakan untuk melihat *life form* dari terumbu karang.

### 2.2.1 Monitoring Terumbu Karang Metode *LIT*

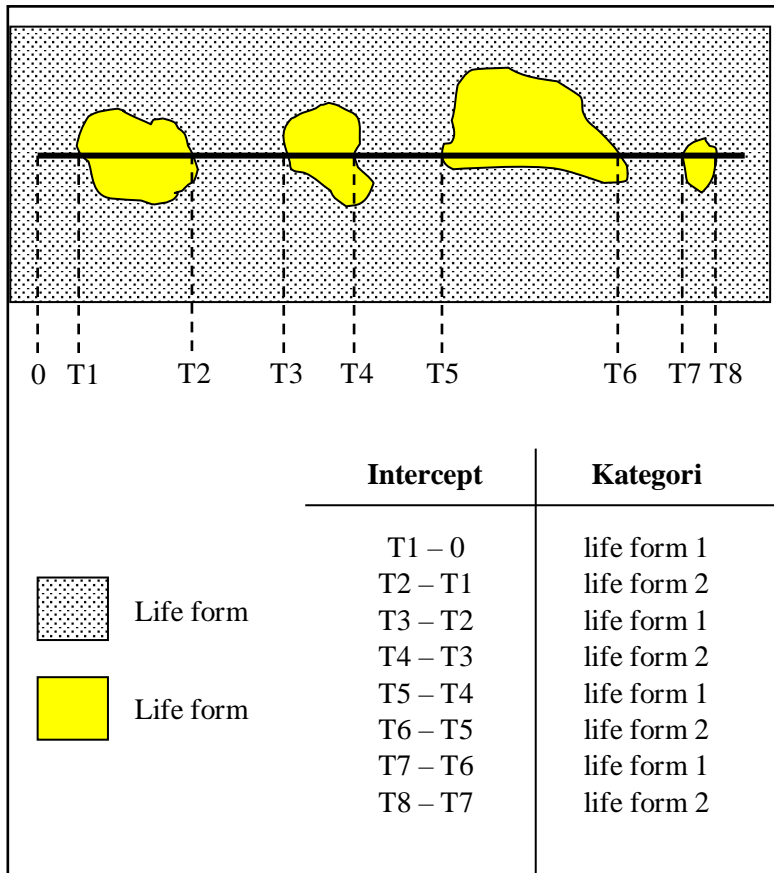
Dalam studi tutupan karang, penggolongan *life form* lebih didasarkan pada jenis dan bentuk umumnya. Data hasil *LIT* dapat menghasilkan data keanekaragaman jenis dari karang

keras (dan juga biota/substrat lainnya) yang ditemukan pada garis transek. Terdapat kelemahan dari metode ini yakni dalam melakukan pengamatan metode *LIT* diperlukan seorang yang memiliki kemampuan menyelam dan kemampuan dalam analisa terumbu karang, Karena kebanyakan kemampuan dari yang dimiliki pengamat hanya sebatas dapat berenang tanpa mampu menganalisa terumbu karang dengan waktu yang yang realtif singkat (Hill dan Wilkinson 2004).



Gambar 2.2 Kegiatan Monitoring dengan Metode *LIT*(Kirsty 2016)

Dalam melakukan pengamatan *LIT*, dilakukan pembentangan *roll meter* dengan jarak yang biasa dipakai adalah 50m dan 100m dengan posisi sejajar garis pantai. Pembentangan *roll meter* didasarkan pada daerah yang representatif terhadap rataan terumbu karang. Pengamatan dilakukan dengan mencatat dan mengukur pada area yang dilintasi garis transek. Pengamatan dimulai dari titik nol hingga titik akhir garis transek. Pengamat harus memiliki kemampuan dalam mengenal tipe-tipe dari bentuk pertumbuhan karang hidup atau biota laut lainnya. Berikut ilustrasi dari survei teknik *LIT*:



Gambar 2.3 Model Pengamatan Metode *LIT*  
(English, dkk 1994)

Hasil pengamatan kemudian bisa diolah lebih lanjut untuk memperoleh nilai tutupan karang.

#### A. Persentase tutupan karang

Persentase tutupan untuk masing-masing kategori *life form* karang dapat dicari dengan rumus berikut:

$$\text{Tutupan Kategori (\%)} = \frac{\text{Panjang Total Setiap Kategori}}{\text{Panjang Total Transek}} \times 100\% \dots (1)$$



Persentase tutupan untuk seluruh kategori *life form* karang hidup dapat dicari dengan rumus berikut:

$$\text{Tutupan Total (\%)} = \frac{\text{Panjang Total Setiap Kategori Terumbu Karang Hidup}}{\text{Panjang Total Transek}} \times 100\% \dots (2)$$

#### B. Penentuan kriteria kondisi tutupan karang

Kriteria kondisi tutupan karang didasarkan pada persentase tutupan karang hidup. Berikut tabel dari kriteria penilaian kerusakan terumbu karang.

Tabel 2.1 Kriteria Kerusakan Terumbu Karang

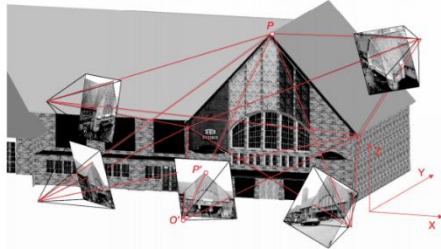
Kriteria Baku Kerusakan Terumbu Karang (dalam %)			
Parameter			
Prosentase Luas Tutupan Terumbu Karang yang Hidup	Rusak	Buruk	0-24,9
		Sedang	25-49,9
	Baik	Baik	50-74,9
		Baik Sekali	75-100

### 2.3 Teknologi Fotogrametri Jarak Dekat

Fotogrametri adalah seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya mengenai obyek fisik dan keadaan sekitarnya melalui perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambar foto dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam (Wolf 1983). Fotogrametri berdasarkan posisi kamera dan jarak pada obyek yang terbagi lagi menjadi berikut :

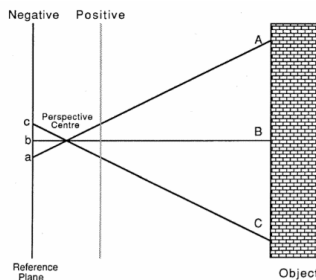
- a. *Satellite Photogrammetry*
- b. *Aerial Photogrammetry*
- c. *Macro Photogrammetry*
- d. *Close-Range Photogrammetry*.

*Close-Range Photogrammetry* atau Fotogrametri jarak dekat adalah dimana jarak antara obyek dengan kamera berada pada radius kurang dari 100m (Luhmann, dkk 2006). Berikut ilustrasi dari pengukuran pada fotogrametri jarak dekat :



Gambar 2.4 Prinsip Pengukuran pada Fotogrametri (Luhmann, et al. 2006)

Pada proses fotogrametri jarak dekat bergantung pada foto terestris dimana memerlukan jarak. Prinsip yang dipakai adalah proyeksi dari titik dari obyek. Berikut ilustrasi yang menunjukkan relasi antara proyeksi perspektif dan relasi dari hubungan antara obyek, pusat proyeksi dan bidang referensi. (Marshall 1989)



Gambar 2.5 Proyeksi Prespektif (Luhmann dkk. 2006)

Dalam Fotogrametri jarak dekat tidak lepas juga dari kesalahan sistematik dan dapat dikurangi dengan menggunakan persamaan kolineritas berikut :

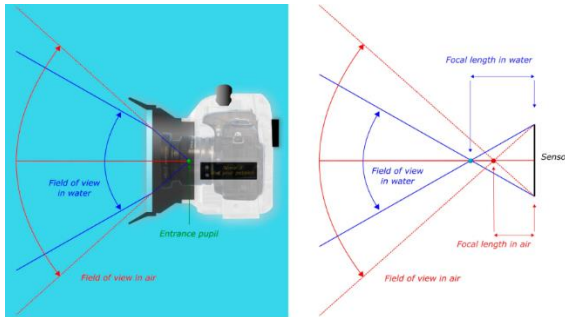
$$\begin{aligned} x_i - x_o \\ = -f \left( \frac{m_{11}(X_i - X_L) + m_{12}(Y_i - Y_L) + m_{13}(Z_i - Z_L)}{m_{31}(X_i - X_L) + m_{32}(Y_i - Y_L) + m_{33}(Z_i - Z_L)} \right) \quad \dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_i - y_o \\ = -f \left( \frac{m_{21}(X_i - X_L) + m_{22}(Y_i - Y_L) + m_{23}(Z_i - Z_L)}{m_{31}(X_i - X_L) + m_{32}(Y_i - Y_L) + m_{33}(Z_i - Z_L)} \right) \quad \dots (2) \end{aligned}$$

### 2.3.1 Underwater Photogrammetry

*Underwater Photogrammetry* atau fotogrametri bawah air adalah pengembangan dari fotogrametri yang telah ada, dimana penerapan fotogrametri yang mulai merambah pada eksplorasi bawah laut dengan kebutuhan resolusi yang lebih tinggi. Dalam penggunaan fotogrametri bawah baik pada perairan dangkal maupun laut dalam memiliki tantangan pada *optical environment* dan *water ripple reflections*, penyerapan cahaya dan turbiditas. *Underwater Photogrammetry* memiliki hambatan, dimana memiliki cakupan lebih dekat, biasanya jarak yang diberikan dalam beberapa meter. Kunci dari parameter dari metode ini adalah pada desain jaring dan akusisi, seperti *ground sample distance (GSD)*, *baseline*, *image overlap*, *expected accuracy*, *nominal focal length*, *sensor resolution*, *aperture value*, *depth of field*, dsb. (Menna dkk. 2016)

Dalam *underwater photogrammetry*, tahapan kalibrasi kamera menjadi hal penting. Sensor kamera mengalami penyempitan *FoV(Field of View)* ketika memasuki medium air seperti dalam hukum *Snellius*. Berikut penggambaran dari sensor ketika memasuki medium air:

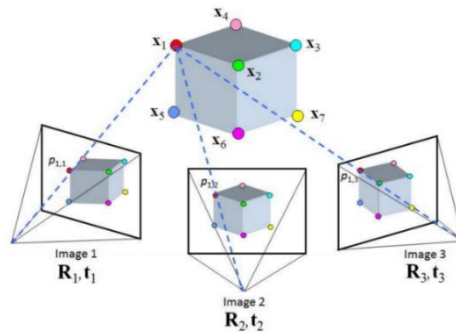


Gambar 2.6 Efek Pembiasan pada Sensor Kamera  
(Menna dkk. 2016)

## 2.4 Metode *Structure from Motion*

*Structure from Motion (SfM)* adalah Teknik rekontruksi 3D yang diaplikasikan secara luas dalam berbagai bidang termasuk survei fotogrametri, rekonstruksi otomatis pada *virtual reality* dari *sequences* video, dan untuk menentukan pergerakan dari kamera, sehingga komputer dapat memproses obyek dan menambahkan dalam *footage* seperti dunia nyata. Proses *SfM* menggunakan data *redundant* dan prosedur *iteratif bundle adjustment*, berdasarkan fitur yang terekstrak dari gambar yang saling bertampalan (Snavely, 2008). Pendekatan semiotomatis ini biasanya digunakan untuk rekonstruksi bangunan, pada khususnya arsitektur yang cukup kompleks (Debevec dkk. 1996).

Pengaplikasian metode *SfM* dapat dilihat pada gambar model kubus berikut, dimana sebuah kubus digambarkan dari banyak sudut pandang (Foto 1, Foto 2, Foto 3). Oleh pelacakan (lihat garis putus-putus) lokasi piksel ( $p_{1,1}$ ,  $p_{1,2}$ , ...) dari fitur tertentu ( $x_1$ ,  $x_2$  ...) dalam gambar, baik gerakan kamera ( $R_1$ ,  $T_1$ ;  $R_2$ ,  $T_2$ , ...) dan model 3D dari struktur diperkirakan. Berikut ilustrasi yang diberikan



Gambar 2.7 Ilustrasi pada Metode *SfM*  
(Yilmaz dan Karakus 2015)

Dalam membentuk dan menghasilkan model 3D, Model harus ditentukan nilai dari posisi nya secara 3D dengan menggunakan Model Matematis. Model matematis dari model *SfM* dapat digambarkan sebagai berikut :

$$\lambda_{ij} x_{ij} = P_i X_j, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

## 2.5 Kalibrasi Kamera

Kalibrasi Kamera adalah proses menentukan parameter intrinsik dan ekstrinsik dari kamera dan lensa. (Cipolla 2008). Nilai dari posisi dari kamera pada objek dapat ditentukan dan di ekstrak ke dalam model 3D. Kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan beberapa metode, yakni diantaranya (Harintaka 2009) :

### a. *Laboratory calibration*

Merupakan kalibrasi yang dilakukan di laboratorium dan terpisah dengan pemotretan obyek. Metode ini cocok digunakan untuk kalibrasi kamera metrik. Metode ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu *optical laboratory calibration* dan *test range calibration*.

### b. *In field calibration*

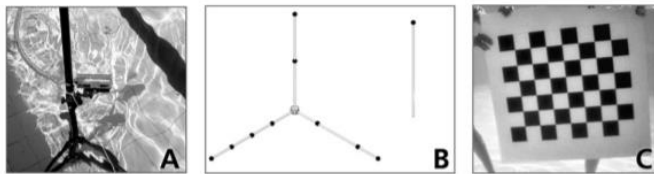
Parameter kalibrasi kamera dihitung menggunakan prinsip *bundle adjustment*, *plumb line*, atau *Direct Linear transform (DLT)*

### c. *Self calibration*

Kalibrasi pada saat pemotretan dikenal dengan *self calibration*, yakni mengkalibrasi kamera sekaligus pada obyek amat dan data diambil bersamaan dengan data observasi. Pengukuran titik titik target pada obyek pengamatan digunakan sebagai data untuk penentuan titik obyek sekaligus untuk menentukan parameter kalibrasi kamera.

#### 2.5.1 Kalibrasi dari Kamera untuk Keperluan *Underwater*

Terdapat beberapa metode yang telah digunakan untuk melakukan kalibrasi kamera di bawah air. Metode kalibrasi yang dilakukan seperti (1) *static control points with nonlinear DLT*, (2) *moving wand with nonlinear camera model and bundle adjustment*, dan (3) *moving plate with nonlinear camera model*. Ilustrasi dari metode tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Metode Kalibrasi (a) *Camera enclosed in housings and fixed up tripods for underwater acquisition* (b) *Triad and wand equipped with black markers used for wand calibration*. (c) *Chessboard used for 2D plate calibration* (Silvatti dkk. 2012)

Kalibrasi kamera menjadi salah satu penentu dalam nilai geometrik foto yang akan dihasilkan, dari metode yang telah ada, metode dengan menggunakan *2D plate calibration* memiliki nilai kesalahan paling kecil, ketika dibandingkan dengan metode lain. Metode *2D plate calibration* ini bisa digunakan untuk pemetaan bawah air dengan nilai geometrik yang lebih bagus. (Silvatti dkk. 2012). Berikut perbedaan dari masing-masing metode yang telah digunakan untuk kalibrasi *underwater* :

$$dx_{radial} = x \cdot (1 + k_1 \cdot r^2 + k_3 \cdot r^4 + k_5 \cdot r^5) \quad ..(3)$$

$$dy_{radial} = y \cdot (1 + k_1 \cdot r^2 + k_3 \cdot r^4 + k_5 \cdot r^5) \quad ..(4)$$

$$dx_{tan} = x + [2 \cdot p_1 \cdot x \cdot y + p_2 \cdot (r^2 + 2 \cdot x^2)] \quad ..(5)$$

$$dy_{tan} = y + [2 \cdot p_1 \cdot (r^2 + 2 \cdot y^2) + 2 \cdot p_2 \cdot x \cdot y] \quad ..(6)$$

Tabel 2.2 Perbedaan Metode Kalibrasi *Underwater*

Faktor Pembeda	Jenis Kalibrasi		
	Nonlinier DLT	Wand Calibration	2D plate
Teknik Kalibrasi	<i>Graduated rod</i>	<i>Triad+Wand</i>	<i>Graduated rod dan chessboard</i>
Titik yang diperlukan	16 Spherical-Marker Hitam	Spherical-Marker Hitam	Planar
<i>Acquisition protocol</i>	4 posisi	<i>Static Rod</i>	4 posisi dan pergerakan <i>cheessboard</i>
Tingkat kalibrasi	<i>Least square</i>	<i>Bundle Adjustment</i>	Perbaikan parameter intrinsik
Model Distorsi	Radial dan Tangensial	Radial	Radial dan Tangensial

Pada kamera yang akan digunakan dalam air memiliki distorsi. Distorsi radial didekati dengan menggunakan persamaan distorsi radial dengan menggunakan selisih nilai  $r$  dari koordinat foto terdistorsi dengan nilai  $r$  sebenarnya yang didapat dari persamaan Hukum Snell, sehingga kamera dapat terkoreksi geometrik. (Anshari dan Cahyono 2015)

### 2.5.2 Calibration Model dan Undistorted Images

Fotogrametri menggunakan lensa *wide-angle* memerlukan pendekatan dalam pengolahan, hal ini dikarenakan gambar

dalam proses tidak langsung mengikuti model proyeksi sentral, melakukan koreksi sebelum distorsi dapat dilakukan dalam prosedur kalibrasi pada kamera *wide-angle*. Dalam proses tersebut memerlukan modifikasi matematis (Hastedt, Ekkel and Luhmann 2016). Sebuah modifikasi matematis dari model kalibrasi Brown telah digunakan untuk menentukan semua parameter yang sesuai dengan deformasi pada lensa yang muncul dalam sebuah gambar. Model diatur dalam koefisien polinomial ke model radial dan distorsi tangensial pada lensa, berikut persamaan yang diberikan : (Balletti, et al. 2014)

Berikut ilustrasi dari gambar yang diambil menggunakan lensa *wide-angle* dan hasil kalibrasi yang diperoleh :



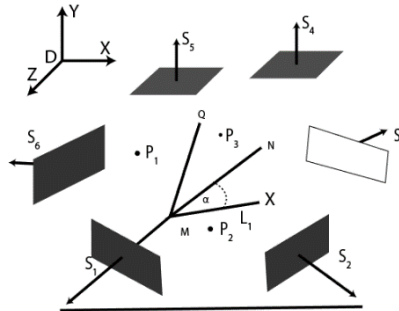
Gambar 2.9 Hasil kalibrasi (a) Gambar Original dari GoPro Hero 3 (b) *Undistorted Image* hasil dari OpenCV (Balletti, C, dkk. 2014)

## 2.6 Titik Kontrol

Titik kontrol adalah titik yang ditandai dan diketahui keberadaannya atas obyek di sekitarnya. Tujuan dari penentuan titik kontrol adalah membawa obyek kedalam ruang sistem koordinat, meratakan nilai yang serupa, dan mengkoreksi akurasi dan reliabilitas dalam fotogrametri. (Wenhao 2001). Penggunaan titik kontrol dalam fotogrametri jarak dekat memerlukan titik 3D dengan ketelitian yang tinggi, ketelitian



yang diperoleh diperlukan dalam ketelitian hingga sub-milimeter.



Gambar 2.10 Metode dalam Sistem Koordinat pada Fotogrametri Jarak Dekat (Wenhao 2001)

Secara umum terdapat dua cara dalam melakukan registrasi dan *georeferencing* dari kumpulan titik pada model 3D. Cara pertama menggunakan cara langsung yakni dengan menggunakan titik yang diketahui dari titik berdiri instrumen, sedangkan cara yang kedua menggunakan titik dari *point clouds* yang ada. Kualitas bergantung dari distribusi dan jumlah target. Metode ini sering digunakan dalam fotogrametri, metode ini berjalan dengan menemukan titik homolog diantara titik *scan* dan menghitung kumpulan titik. Algoritma yang paling populer adalah metode ICP (*Iterative Closest Point*) diperkenalkan oleh (Besl dan McKay 1992), yang secara iterasi meminimalkan perbedaan antara set pertama poin dan transformasi geometrik dari set kedua poin. Kelemahan metode ini membutuhkan *overlap* tertentu diantara *point clouds* yang ada (Moisan dkk. 2015).

Untuk menentukan akurasi dari titik control yang digunakan dapat di evaluasi menggunakan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dari titik yang belum ditentukan ( $m$ ) yang terdiri atas RMSE dari Control point ( $m_{\text{kontrol}}$ ) dan RMSE dari model. Untuk menghapuskan nilai pengaruh  $m$ , dapat dengan mengatur

$m_{\text{control}} < m_{\text{model}} / 3$  , sehingga bisa ditentukan nilai akurasi yang dibutuhkan untuk titik kontrol. Persamaan diberikan sebagai berikut: (Wenhao 2001)

$$m = \sqrt{m_{\text{Control}}^2 + m_{\text{Model}}^2} \quad (7)$$

Keterangan

$m_{\text{control}}$  = merupakan titik pada keadaan sebenarnya

$m_{\text{model}}$  = merupakan titik yang diamati pada model

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian yang berkaitan dengan monitoring terumbu karang yakni sebagai berikut :

- a. *Measuring coral reef terrain roughness using 'Structure-from-Motion' close-range photogrammetry* (Leon dkk. 2015).
- b. *GoPros<sup>TM</sup> as an underwater photogrammetry tool for citizen science* (Raoult dkk. 2016).
- c. *A comparison of video and point intercept transect methods for monitoring subtropical coral communities* (Lam dkk. 2006).
- d. *Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques.* (Cassela dkk. 2017).
- e. *Integrating structure-from-motion photogrammetry with geospatial software as a novel technique for quantifying 3D ecological characteristics of coral reefs* (Burns dkk. 2015).
- f. *Automated classification of underwater multispectral imagery for coral reef monitoring* (Gleason dan Reid 2007).
- g. *Characterization of measurement errors using structure-from-motion and photogrammetry to measure marine habitat structural complexity* (Bryson dkk. 2017).

Berikut perbedaan dari masing-masing metode dijabarkan dalam tabel berikut :

Tabel 2.3 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

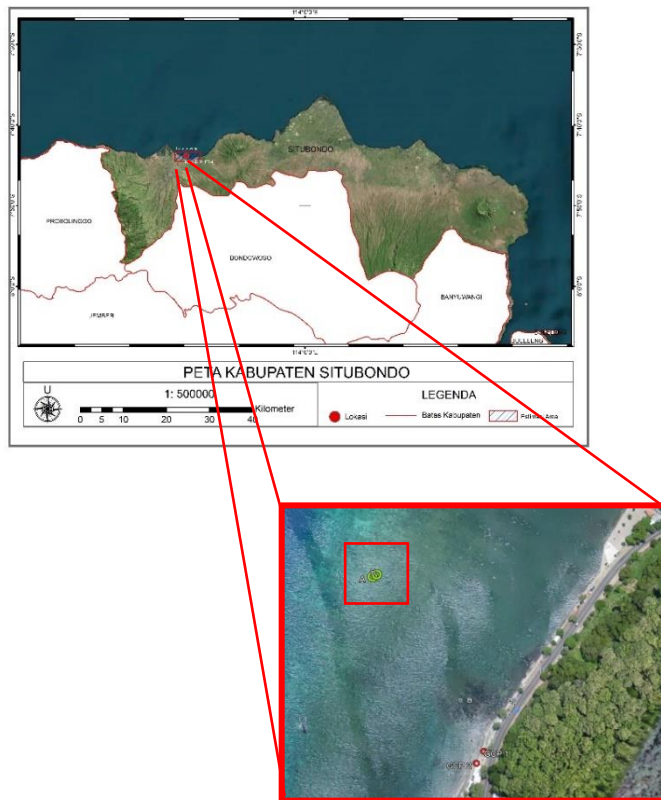
No	Nama Peneliti	Metode yang dipakai	Kelebihan	Kelemahan
1	Leon dkk. 2015	pembentangan <i>transect</i> sepanjang 250m, pengolahan metode <i>SfM</i> , menghitung nilai <i>Roughness</i> dari 3 parameter berbeda ( <i>RMS H, Turtuosity, dan Fractal</i> )	Memperoleh nilai kekasaran dengan teliti dari 3 parameter yang ada	Masih menggunakan penyelam dalam akusisi.
2	Raoult dkk. 2016	perbandingan hasil pengukuran dengan menggunakan <i>SfM</i> dan penyelam konvensional,	Akusisi dengan menggunakan Gopro sehingga diperoleh <i>FoV</i> lebar, cakupan area yang luas	Kesulitan dalam menentukan nilai kalibrasi dibanding kamera biasa.
3	Lam dkk. 2006	Menggunakan ROV untuk akusisi, dibandingkan dengan <i>PIT</i>	Dapat mendeteksi perubahan temporal dengan lebih presisi real time	Keterbatasan dari data video, dalam penyediaan ukuran

No	Nama Peneliti	Metode yang dipakai	Kelebihan	Kelemahan
4	Cassela dkk.2017	Menggunakan UAV untuk pemetaan dari surface dengan kamera, dan <i>bathymetry</i> LiDAR	Memperoleh hasil DTM dengan akurasi yang baik dan cakupan luas	DTM yang dihasilkan belum bisa untuk klasifikasi koloni terumbu karang
5	Burns dkk. 2015	Menggunakan fotogrametri bawah laut untuk memodelkan dan menghitung dari karakter terumbu karang.	Memperoleh nilai <i>slope</i> dari masing-masing karakter terumbu karang	Tidak menggunakan filter sehingga warna dalam DTM yang terbentuk berbeda dengan kondisi sebenarnya
6	Gleason dan Reid 2007	Menggunakan <i>Underwater Multispectral Camera (6 band )</i> untuk melakukan klasifikasi secara otomatis	Memperoleh klasifikasi dari <i>texture</i> dengan lebih baik	Belum bisa melakukan klasifikasi dalam jenis, masih perlu algoritma yang lebih kompleks dan input dari katalog terumbu karang.
7	Bryson dkk. 2017	Menggunakan 2 kamera stereo untuk akusisi, dan pengambilan dalam waktu temporal berurutan.	Penggambaran dinamika dari terumbu karang dengan metode <i>SfM</i>	Peningkatan biaya dalam akusisi dan jumlah sampling

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi pada penelitian ini berada pada pantai Pasir Putih, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur. Secara geografis lokasi berada diantara  $7^{\circ}40'20.91''$ -  $7^{\circ}40'0.7''$  LS dan  $113^{\circ}50'37.53''$ -  $113^{\circ}53'21.30''$  BT. Berikut adalah peta lokasi dari penelitiannya:



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian dan *Sample Data*

Untuk luasan yang akan dipetakan adalah memiliki dimensi panjang 25m dan lebar  $\pm 2$ m, Area yang dipilih memiliki sebaran berupa terumbu karang *massive* ketika dilakukan *scanning* sekilas, namun masih merupakan karang terumbu karang hidup. Kedalaman yang dipilih berada pada rentang 2-3,5 m, dimana memiliki nilai salinitas perairan wilayah berkisar pada 32-32,5 (PSU), kecepatan angin berkisar pada 4-6 knots. Waktu yang dimungkinkan untuk melakukan akusisi yakni berkisar pada pukul 9.00 WIB hingga 14.00 WIB, dimana memiliki kondisi cahaya yang tepat dan kondisi angin serta ombak yang masih relatif rendah. Dengan data tersebut bisa disimpulkan memiliki kondisi yang cukup sehingga memungkinkan untuk dilakukan pemetaan dengan sensor optis (BMKG 2018).

### 3.2 Data dan Peralatan

Data dan Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir terbagi menjadi berikut :

#### 3.2.1 Data

Data yang dipergunakan terbagi dalam 4 jenis. Berikut jenis data yang dipergunakan:

##### 1.Data foto dari *underwater camera*

Data foto berupa data akusisi menggunakan kamera *underwater* dengan lajur dan interval pengambilan yang telah ditentukan.

##### 2.Data pengukuran titik kontrol

Data titik kontrol yang digunakan terdiri dua macam, yaitu:

- a) Data dari GPS Geodetik sebagai titik acuan pada Titik kontrol yang berada di darat.
- b) Data dari *Total Station* yang digunakan untuk memperoleh nilai koordat dari *marker* yang diletakkan di laut.

##### 3.Data Kalibrasi

Data kalibrasi kamera yang diperoleh dari akuisisi secara langsung di lapangan dengan menggunakan

papan kalibrasi, dan digunakan untuk koreksi foto-foto obyek.

#### 4.Data Ukuran Fisik dari *Marker*

Merupakan data ukuran fisik laboratorium dari *marker* yang digunakan dan nanti akan dipakai sebagai acuan dalam penentuan dimensi obyek pada segmen tertentu.

#### 3.2.2 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini terbagi menjadi 2:

##### A. Perangkat Keras(*Hardware*)

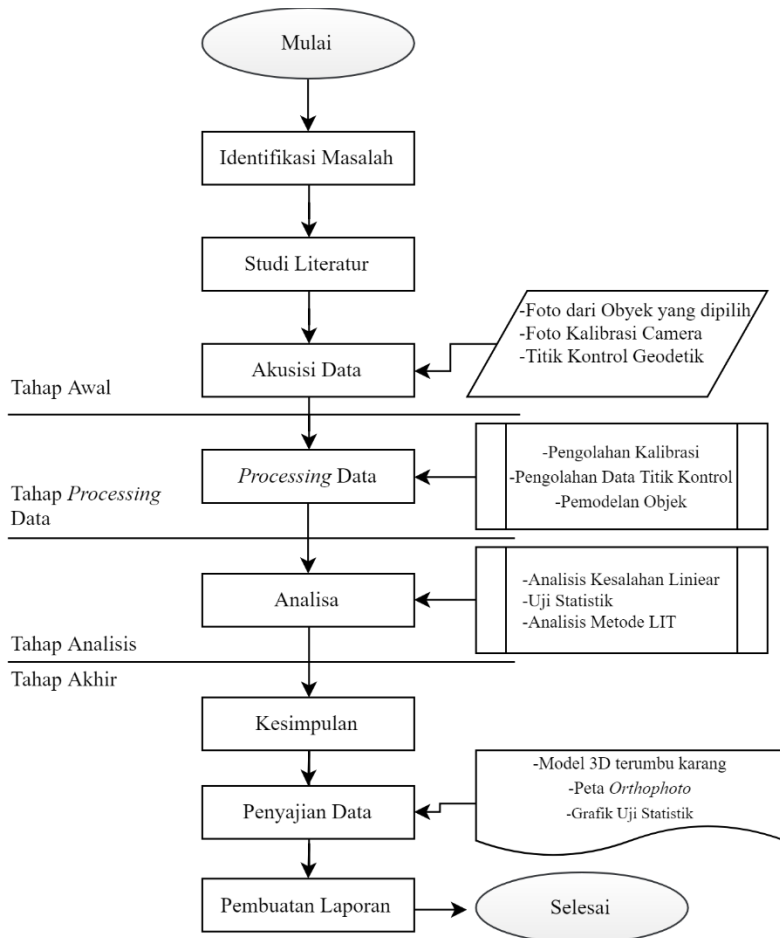
1. *Marker* bentuk L dan *marker* K (Dimensi dari *marker* bentuk L adalah 0,5 x 0,1 meter, sedangkan untuk *marker* K berbentuk persegi dengan dimensi 0,2 x 0,2 meter)
2. 1 Set GPS Geodetik *Topcon Hiper-Pro*
3. Kamera *action* GoPro Hero 4 Silver 12 MP
4. Notebook MSI GP62 MVR dengan spesifikasi
5. Processor : Intel Core i7 ,  
RAM : 16GB,  
SSD : 250GB NVME,  
VGA Card : GTX 1060 with 3GB GDDR5
6. *Roll* meter 30M
7. Papan kalibrasi ukuran A2 terbuat dari akrilik, bermotif papan catur dengan dimensi 42mm pada tiap persegi
8. *Total Station* Topcon 2"
9. *Rig camera* dari pipa paralon.

##### B. Perangkat lunak (*Software*)

1. Perangkat lunak pengolah foto metode *SfM*
2. Arcgis 10.4 Lisensi ITS
3. Civil 3D *Student Version*
4. *Microsoft Office Word* Lisensi ITS
5. *Microsoft Office Excel* Lisensi ITS
6. *Matlab* 2017b

### 3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan pekerjaan yang akan dilaksanakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Diagram Alir Tugas Akhir



Berikut adalah penjelasan diagram alir dari metode penelitian:

### 1. Tahap Awal

Pada tahap ini, kegiatan-kegiatan yang dilakukan adalah:

#### a. Identifikasi Masalah

Pada tahapan ini dilakukan penentuan masalah dan meninjau batasan dari masalah pada penelitian tugas akhir yang hendak diselesaikan. Permasalahan yang diambil pada penelitian ini berfokus pada aplikasi pemetaan bawah air pada terumbu karang dan bentuk geometrik yang dihasilkan.

#### b. Studi Literatur

Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan referensi yang menunjang kegiatan penelitian, dapat berupa teori, rumus, atau data dari buku, jurnal, majalah, internet, ataupun dari sumber lainnya. Referensi yang digunakan berhubungan dengan tata cara analisa terumbu karang, pemodelan 3D, *Underwater Photogrammetry*.

#### c. Akusisi Data

Proses akusisi data merupakan kegiatan mencari dan mengumpulkan data yang diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir. Data yang dibutuhkan dan akan diambil adalah sebagai berikut:

##### 1. Foto Papan Kalibrasi/ *Calibration Chessboard*

Diperoleh dengan mendesain dan mencetak *calibration chessboard*. Lembaran kalibrasi tersebut (*Calibration Chessboard*) kemudian dimasukan kedalam akrilik yang telah disiapkan. Papan kalibrasi tersebut kemudian dimasukan kedalam air. Kamera dimasukan kedalam air, namun posisi dari kamera diam statik. Papan kemudian digerakan ke berbagai arah untuk dipotret.

## 2. Pengukuran Titik Kontrol Darat

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan 2 titik BM sementara yang ditanam di area pesisir. Pengukuran dilakukan menggunakan GPS Geodetik. Titik pertama sebagai *base* dan titik yang lain sebagai titik *rover*. Hasil dari titik ini akan digunakan sebagai acuan dalam penentuan titik kontrol laut.

## 3. Pengukuran Area

Pengukuran menggunakan *roll meter* yang dibentangkan memanjang sejauh 25m. Posisi yang dari *roll meter* harus tegak lurus terhadap garis pantai dan memiliki cakupan terumbu karang yang relatif padat.

## 4. Plotting Titik Kontrol dan Marker

Area yang telah diukur sejauh 25m kemudian disebarkan titik kontrol berupa *marker* berbentuk L. *Marker* ini nantinya akan digunakan sebagai titik kontrol laut, apabila koordinat dari titik kontrol ini bisa diketahui model yang akan dihasilkan bisa diorientasi dan memiliki nilai ukuran geometrik sebenarnya. Penyebaran dari titik *marker* L berada pada panjang  $\pm 9$  m,  $\pm 14$  m,  $\pm 19$  m dan  $\pm 24$  m. Setelah *marker* L selesai dipasang, kemudian *marker* K dengan jumlah 30 buah disebar secara merata sepanjang jalur, jarak yang dianjurkan pada radius  $\pm 1$  m. Posisi dari keramik tidak jauh dari *roll meter* yang telah dibentangkan kira-kira berada pada jarak maks  $\pm 30$  cm

## 5. Pengukuran Titik Kontrol Laut

Pengukuran titik kontrol laut, merupakan pengukuran dari titik *marker* berbentuk L, dimana *marker* tersebut digunakan sebagai titik

kontrol dari model yang akan dihasilkan. Pengukuran dimulai dengan menggunakan pengukuran dari titik kontrol darat, *Set-up Total Station* pada titik BM 1 arahkan bidikan pada BM kedua. Bidikan ini sebagai arah orientasi dari titik yang digunakan agar diperoleh sudut dalam dari titik yang akan diukur, dari titik tersebut lakukan pengukuran dari 4 *marker* yang telah disebar. Titik kontrol tersebut diukur sebanyak lima kali pada tiap titiknya, agar diperoleh ukuran lebih dari ukuran dan meminimalisir kesalahan.

#### 6. Foto Terumbu Karang

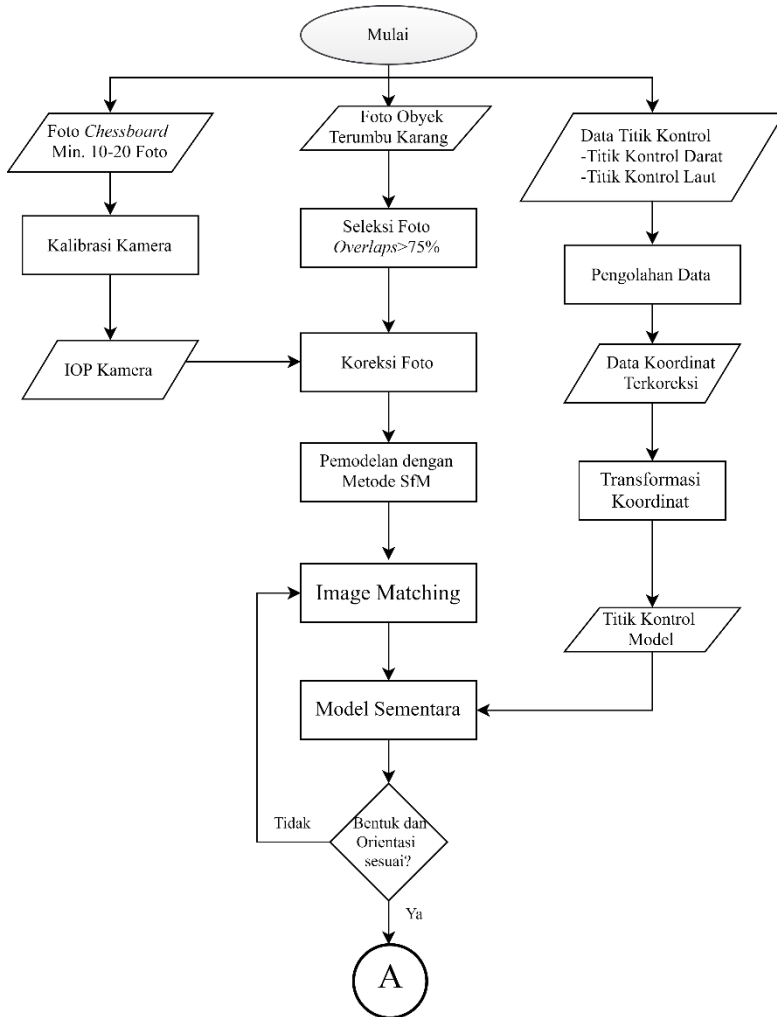
Foto dari terumbu karang diakusisi dengan menggunakan *rig camera* yang telah didesain sebelumnya dengan menggunakan dua 4 kamera. Tujuan dari penggunaan 4 kamera adalah agar diperoleh nilai *overlaps* tinggi dari foto yang diakusisi mengingat medium yang digunakan adalah air, serta ada faktor dari arus dan gelombang, dan jarak dari kamera ke bidang pendek sehingga *overlaps* yang diperoleh harus tinggi  $>75\%$ . Akusisi menggunakan penyelam profesional agar diperoleh kesetabilan dari data yang dihasilkan.

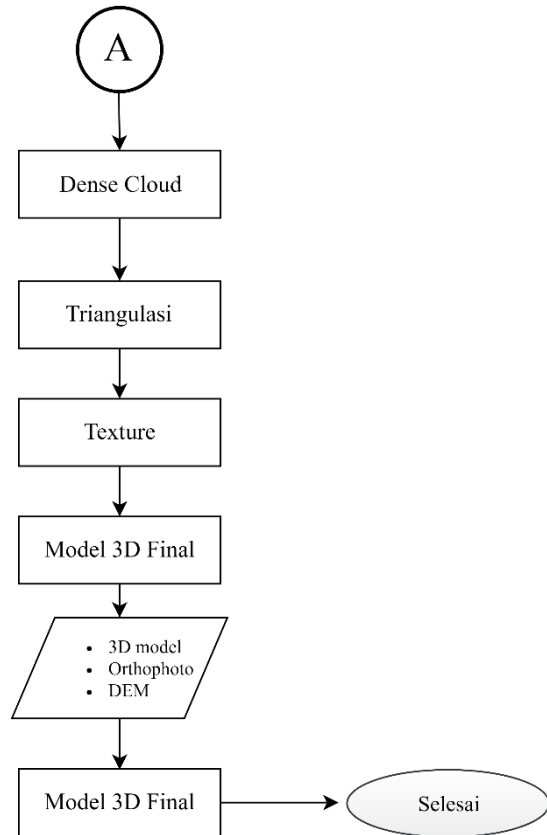
#### 7. Pengukuran Panjang Segmen

Pengukuran panjang dari segmen dilakukan dilakukan pada dua kondisi. Kondisi pertama dilakukan pada lab dimana data panjang dari *marker* yang akan dibenamkan dalam air diukur terlebih dahulu. Kondisi kedua dari pengukuran adalah ketika model sudah dimasukkan dalam air, lalu diperoleh hasil dan kemudian dari model yang diperoleh kemudian dilakukan pengukuran ulang dari segmen-segmen yang ditentukan.

### 3.3.1 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan *software* pengolahan foto dengan metode *SfM* dan alur pengolahan sebagai berikut :





Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data

Penjelasan Diagram Alir:

1. Tahapan Pengolahan Kalibrasi  
Kalibrasi Kamera

Kalibrasi merupakan proses untuk mencari parameter orientasi dalam kamera. Hasil foto kalibrasi dipilih pemilihan tersebut berdasar dari *overlaps* dan hasil dari pemotretan *calibration frame chessboard*. Foto dipilih dan

dilakukan perhitungan hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk mengoreksi data foto pada obyek.

## 2. Tahapan Pengolahan Titik Kontrol

Pengolahan titik kontrol terbagi menjadi dua:

### a. Pengolahan titik kontrol darat

Pengolahan titik berupa pengolahan data dari pengamatan GPS Geodetik. Data yang diperoleh yang akan dilakukan *adjustment*, dimana satu titik digunakan sebagai titik base dan titik yang lain digunakan sebagai titik koreksi. Ketinggian yang digunakan berupa ketinggian *ellipsoid*. Hasil yang diperoleh menyesuaikan dari ketelitian alat yang dipakai. Hasil yang diperoleh akan digunakan sebagai penentuan *azimuth* dari titik kontrol laut yang akan dihitung dan titik yang akan digunakan sebagai parameter transformasi.

### b. Pengolahan titik kontrol laut

Pengolahan dari titik kontrol laut merupakan kelanjutan dari pengolahan titik kontrol darat. Titik ini akan digunakan sebagai titik kontrol dari model yang akan digunakan. Pengolahan dari titik kontrol laut mengacu pada perataan parameter, karena jumlah bidikan dari titik berjumlah 5 kali pada setiap titik. Pembobotan berada pada jarak dari titik dan besaran sudut. Hasil koreksi dari pemberian bobot tersebut kemudian dilakukan perhitungan koordinat. Koordinat tersebut kemudian ditransformasikan ke WGS84 zona 49S agar diperoleh nilai pada sistem referensi global.

### c. Tahapan Pengolahan Proses Fotogrametri

Tahapan yang ada dalam proses fotogrametri adalah sebagai berikut :

#### 1) *Image Selection*

*Image Selection* adalah proses pemilihan dari foto . Foto di kelompokkan berdasar dari tingkat

*overlaps* antar foto. Dimana tingkat *overlaps* untuk mempermudah *processing* dan melakukan *checking* awal apakah data sudah lengkap. *Overlaps* yang dianjurkan adalah  $> 75\%$  .

2) *Image Matching*

*Image Matching* merupakan proses penyatuan antar foto sehingga diperoleh model awal dari obyek dengan menggunakan algoritma *SfM*. Model yang dihasilkan akan mengeluarkan titik-titik dari penggambaran obyek secara visual dan kasar. Titik yang dihasilkan kemudian tersebut diberikan orientasi dengan menggunakan titik kontrol yang telah dikoreksi. Model yang berhasil dilakukan orientasi akan menghasilkan model dengan orientasi sebenarnya.

3) *Dense*

Merupakan hasil dari ekstrak *point cloud* dengan kerapatan titik yang lebih padat. Titik model 3D dari obyek telah divisualisasikan kemudian dipadatkan lagi dari foto yang ada. Jumlah titik yang diambil lebih banyak sehingga titik yang ditampilkan akan lebih padat, dan model tervisualisasikan akan lebih terlihat nyata.

4) *Triangulasi*

Proses triangulasi merupakan proses dimana model 3D yang telah dipadatkan titiknya di interpolasi dengan titik yang ada dengan proses triangulasi sehingga menghasilkan bentuk *solid* dan *wireframe*.

5) *Texturing*

Setelah model selesai dibentuk, model diberi warna dengan *texturing* dari hasil foto yang ada. Warna dari pemberian menyesuaikan warna asli dari obyek.

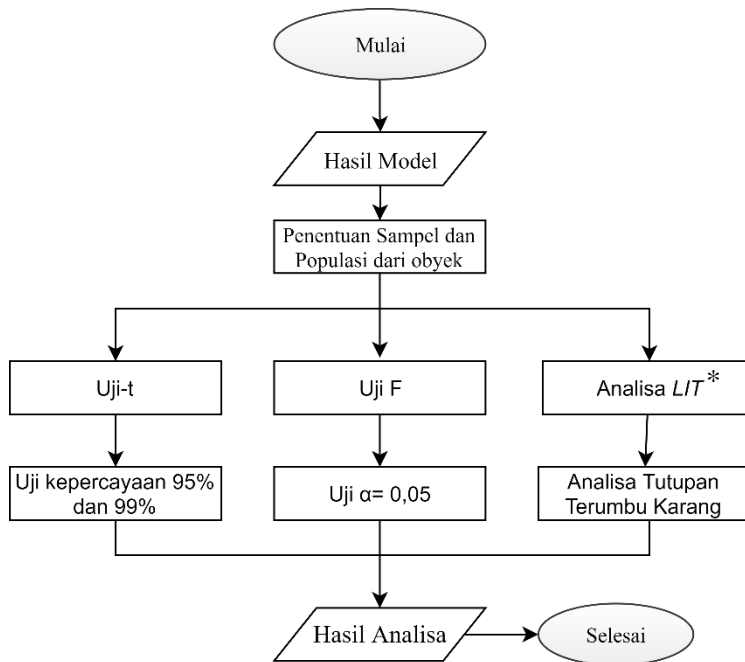
6) *Hasil Akhir*

Dari model 3D yang dihasilkan bisa diperoleh beberapa hasil berikut:

- Model 3D
- *Orthophoto* terumbu karang
- DEM (*Digital Elevation Model*)

### 3.3.2 Tahap Analisa

Tahapan analisa dari hasil pemodelan terbagi menjadi 3 bagian besar. Berikut diagram alir dari proses analisa model:



Gambar 3.4 Diagram Proses Analisa

Berikut penjelasan dari diagram alir pada proses analisa:

#### 1. Hasil Model

Hasil model merupakan data yang akan digunakan sebagai bahan analisa. Bahan ini terdiri dari data



laboratorium dan data hasil pengukuran pada model. Pengukuran pada model terdiri dari pengukuran dari *marker* L dan *marker* K.

## 2. Penentuan Sampel dan Populasi Obyek

Dari data yang tersedia kemudian ditentukan data yang digunakan sebagai sampel dan data yang tergolong populasi. Penentuan berdasarkan prioritas dari data dan jumlah data yang dapat digunakan.

## 3. Proses Analisa :

### a. Uji-t

Digunakan untuk membandingkan suatu variabel tunggal dengan menggunakan konstanta tertentu. Data diuji menggunakan nilai kepercayaan 95% dan 99%.

### b. Uji F

Digunakan untuk menganalisa dua populasi data secara serentak, yang memiliki data acak dan distribusi normal. Nilai signifikansi yang digunakan pada nilai  $\alpha = 0,05$ .

### c. Analisa *LIT*\*

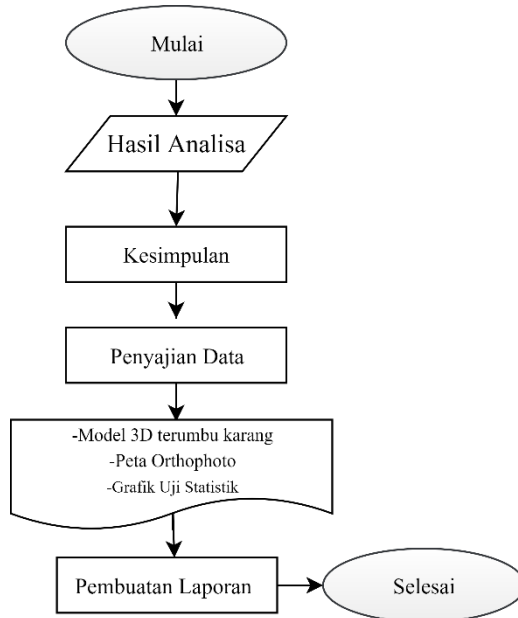
Merupakan proses analisa dari tutupan karang. Proses ini dilakukan dari tim pihak **Biologi Kelautan ITS** dengan melakukan pengamatan yang berkonsentrasi pada daerah yang menyinggung transek. Dari hasil yang diperoleh akan diamati dan akan dihitung jumlah tutupan karang hidup dan *life form*.

## 4. Hasil Analisa

Hasil dari analisa berupa grafik uji-t, uji F, dan nilai tutupan karang dari model yang digunakan. Hasil dari analisa dari ketiga metode analisa tersebut akan digunakan untuk penarikan kesimpulan .

### 3.3.3. Tahap Akhir

Pada tahap ini diperoleh hasil analisa dan penulisan laporan Tugas Akhir dari semua kegiatan penelitian yang telah dilakukan. Berikut diagram alir yang diberikan:



Gambar 3.5 Diagram Hasil Akhir

Penjelasan dari diagram alir tersebut adalah sebagai berikut:

#### 1. Hasil Analisa

Hasil analisa merupakan hasil yang telah diperoleh dari proses analisa model yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya. Hasil ini akan digunakan dalam penarikan kesimpulan dalam pelaksanaan penelitian dan pelaporan hasil.

#### 2. Kesimpulan

Kesimpulan merupakan proses lanjutan dari hasil analisa yang diperoleh, dari hasil tersebut akan dilakukan penarikan

kesimpulan yang bertujuan untuk menentukan hasil dari penyelenggaraan penelitian apakah bisa menjawab dari rumusan masalah yang diberikan, dan pencapaian dari parameter tujuan masalah. Proses penarikan kesimpulan berlangsung pada setiap aspek dari kegiatan penelitian. Masalah baru yang timbul juga digunakan sebagai penentuan dari penarikan kesimpulan.

3. Penyajian Data

Penyajian data merupakan proses pra-akhir dari kegiatan penelitian. Penyajian data dapat berupa tabular, grafik, peta, dsb. Penyajian peta dalam penelitian ini berupa Peta *Orthophoto* dengan skala yang disesuaikan pada ukuran cetak dengan skala yang efektif. Penyajian model 3D dapat berupa model 3D yang dapat ditampilkan dengan menggunakan perangkat pihak ketiga, atau dicetak pada kertas dengan beberapa kondisi.

4. Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan merupakan tahapan akhir dari penelitian yang telah dilaksanakan. *Output* dari kegiatan ini berupa buku laporan yang memuat latar belakang masalah, dasar teori dari penelitian, metodologi penelitian, hasil dan analisa, kesimpulan dan saran, serta didukung dengan data dokumentasi dan lampiran-lampiran pendukung yang berguna sebagai data penunjang dalam kegiatan penelitian.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil

Hasil yang diperoleh dari penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut:

##### 4.1.1 Titik Kontrol dari Pengukuran GPS

Titik kontrol pada penelitian ini menggunakan 2 alat dalam melakukan pengukuran yakni menggunakan GPS dan *Total Station*. Jumlah titik yang akan diukur berjumlah 4 buah dengan menggunakan metode pengikatan kemuka. Titik berdiri alat diukur menggunakan GPS Geodetik, dimana berjumlah dua titik dengan referensi tinggi ellipsoid, sedangkan titik GCP (*Ground Control Point*) yang berada di laut diukur menggunakan *Total Station* dengan referensi tinggi dari pesisir. Berikut hasil pengukuran titik berdiri alat dan titik *backsight*:

Tabel 4.1 Koordinat Titik Kontrol Darat

Nama Titik	<i>Easting(m)</i>	<i>Northing (m)</i>	Tinggi(m)
BM 1	812164,164	9148850,426	49,284
BM 2	812157,878	9148839,130	49,196

Dari pengukuran GPS diperoleh besar *RMSE* horizontal sebesar 0,003m dan *RMSE* vertikal 0,005m. Berikut penggambaran lokasi di lapangan :



Gambar 4.1 Lokasi Titik di Lapangan

Lokasi dari kedua titik tersebut berada pada area pesisir, dengan posisi terbuka dan bebas dari *obstacle*.

#### 4.1.2 Titik Kontrol dari Pengukuran *Total Station*

Dari hasil yang diperoleh dari pengukuran didarat menggunakan GPS Geodetik, lalu dilakukan pengukuran titik detail yang digunakan sebagai titik kontrol laut menggunakan *Total Station*, dan dilakukan perhitungan titik detail (perhitungan terlampir). Cara perhitungan menggunakan metode hitung perataan parameter. Berikut hasil dari perhitungan pada titik kontrol pada model:

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran *Total Station*

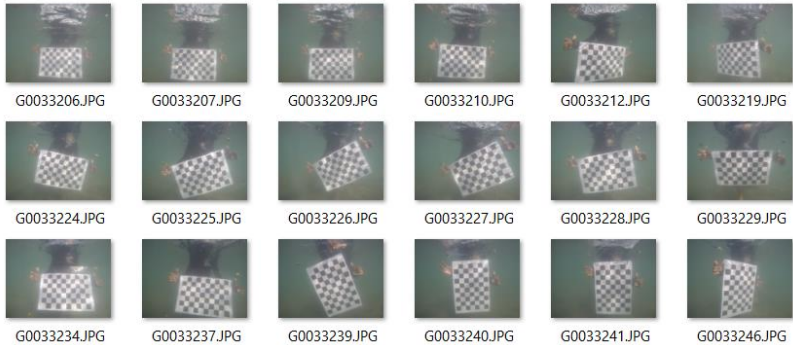
Nama Titik	<i>Easting(m)</i>	<i>Northing(m)</i>	Tinggi(m)
A	812061,258	9149013,493	-2,885
B	812065,605	9149015,508	-2,637
C	812070,814	9149016,241	-2,859
D	812075,751	9149018,178	-2,996

Titik yang dihasilkan berjumlah 4 titik dari hasil perataan parameter. Dimana nilai tinggi yang diperoleh tidak menggunakan hasil pengukuran GPS dan MSL, namun menggunakan tinggi lokal dari pengukuran *Total Station*. Titik berdiri alat di asumsikan sebagai titik nol dari referensi tinggi, karena keterbatasan kondisi lapangan sehingga tidak dapat dilakukan pengamatan pasang surut. Penggambaran dari titik tersebut berbentuk poligon memanjang dengan posisi tegak lurus terhadap garis pantai.

#### 4.1.3 Kalibrasi Kamera

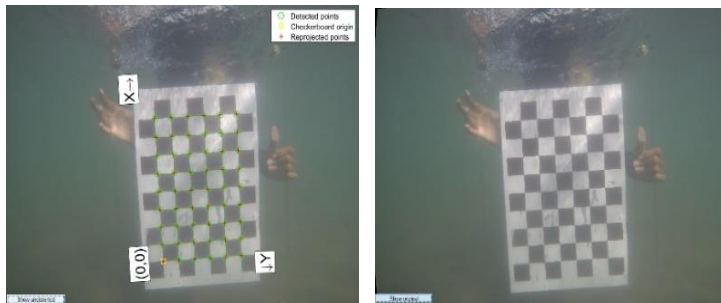
Kalibrasi kamera *underwater* dilakukan secara *infield*. Papan kalibrasi dan kamera dimasukan ke dalam air dan

dilakukan pemotretan dari berbagai sisi. Berikut beberapa hasil dari akusisi data untuk kalibrasi kamera:



Gambar 4.2 Data untuk Kalibrasi Kamera

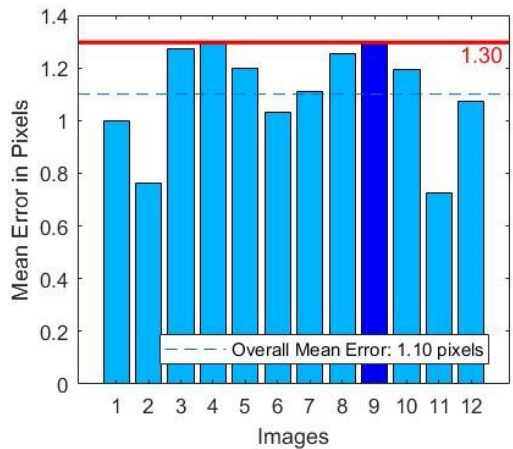
Data foto tersebut kemudian dipilih dan digunakan untuk memperoleh nilai dari parameter intrinsik dan ekstrinsik, berikut hasil yang diberikan:



Gambar 4.3 Perbandingan Gambar yang  
Telah Dikalibrasi

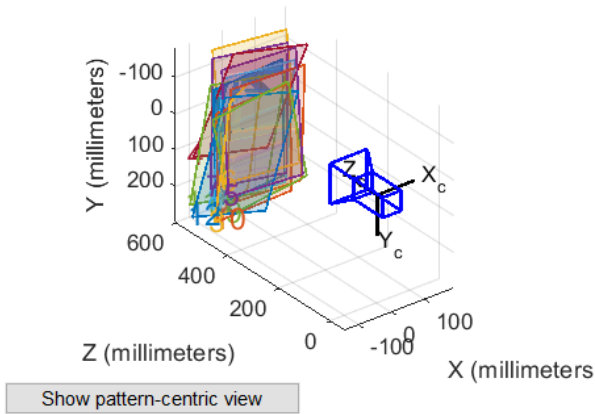
Dari proses kalibrasi yang telah dilakukan pada foto, telah dihasilkan foto yang dengan distorsi yang telah tereduksi. Sehingga faktor distorsi dari kamera *action* ketika memasuki medium air dan mengalami pembiasan dapat dikoreksi geometriknya.

Error rata-rata yang diperoleh dari kalibrasi adalah sebesar 1,10 piksel, berikut nilai dari kesalahan masing-masing foto yang digunakan pada proses kalibrasi:



Gambar 4.4 Error Piksel

Nilai kesalahan yang terbesar berada pada 1,30 piksel dan yang terkecil berada pada angka 0,7 piksel. Berikut penggambaran dari posisi kamera dalam model ruang:



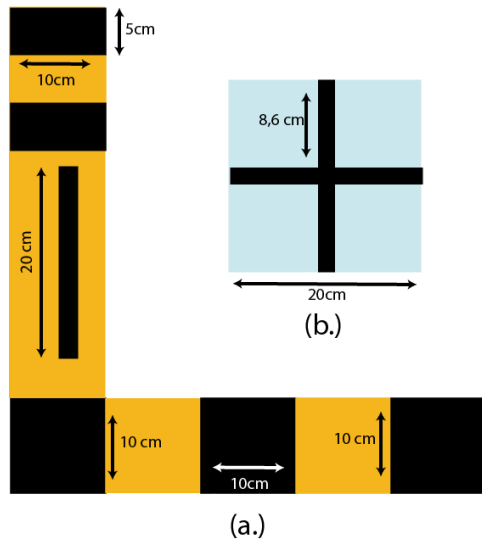
Gambar 4.5 Orientasi Kalibrasi



Sebaran dari data foto untuk kalibrasi masih cenderung berkumpul pada satu titik, sehingga masih menghasilkan nilai *error* dari kalibrasi yang cukup besar ( $>1$  piksel).

#### 4.1.4 Hasil Uji Kesalahan Linier

Hasil uji statistik yang digunakan dalam hal ini mengacu dari nilai ukuran dari *marker* yang dibenamkan di area yang akan dipetakan dimana ada 4 *marker* berbentuk L dan 30 *marker* K berbentuk persegi dengan detail ukuran asli sebagai berikut :



Gambar 4.6 Sketsa Model dalam Penentuan Kesalahan Linier a.)Marker L b.)Marker K

Berikut nilai *error* yang diperoleh dari masing-masing segmen yang diukur pada model:

Tabel 4.3 Kesalahan pada *Marker L*

Panjang Model(cm)	Panjang Asli(cm)	Delta L(cm)
20,070	20	0,070
9,472	10	0,528
9,468	10	0,532
4,503	5	0,497
9,442	10	0,558
19,630	20	0,370
9,730	10	0,270
9,116	10	0,884
9,841	10	0,159
4,779	5	0,221
9,963	10	0,037
9,663	10	0,337
9,801	10	0,199
10,144	10	0,144
4,949	5	0,051
10,268	10	0,268
20,173	20	0,173
10,059	10	0,059
10,266	10	0,266
10,103	10	0,103
9,682	10	0,318
9,788	10	0,212
4,668	5	0,332
20,617	20	0,617

Sedangkan untuk data pada *marker K*, diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.4 Kesalahan pada *Marker K*

Panjang Model (cm)	Panjang Asli (cm)	Delta L(cm)
8,023	8,6	0,577
18,348	20	1,652
8,117	8,6	0,483
18,700	20	1,300
8,202	8,6	0,398
18,785	20	1,215
8,332	8,6	0,268
18,842	20	1,158
8,058	8,6	0,542
18,928	20	1,072
7,822	8,6	0,778
18,910	20	1,090
8,593	8,6	0,007
19,425	20	0,575
8,333	8,6	0,267
19,355	20	0,645
8,221	8,6	0,379
19,158	20	0,842
7,859	8,6	0,741
18,743	20	1,257
8,406	8,6	0,194
17,722	20	2,278
8,367	8,6	0,233
18,756	20	1,244
9,029	8,6	0,429
19,781	20	0,219
7,877	8,6	0,723

Lanjutan dari tabel 4.4

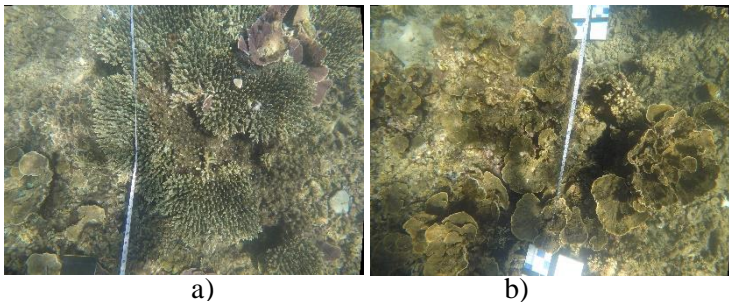
Panjang Model (cm)	Panjang Asli (cm)	Delta L(cm)
19,047	20	0,953
7,382	8,6	1,218
19,513	20	0,487
8,497	8,6	0,103
19,445	20	0,555
8,176	8,6	0,424
19,487	20	0,513
8,979	8,6	0,379
19,986	20	0,014
9,000	8,6	0,400
19,560	20	0,440
7,621	8,6	0,979
19,898	20	0,102
8,971	8,6	0,371
19,227	20	0,773
8,301	8,6	0,299
20,149	20	0,149
9,445	8,6	0,845
20,142	20	0,142
8,927	8,6	0,327
19,773	20	0,227
8,983	8,6	0,383
20,302	20	0,302
9,449	8,6	0,849
19,683	20	0,317
8,650	8,6	0,050
20,600	20	0,600

Lanjutan dari tabel 4.4

Panjang Model (cm)	Panjang Asli (cm)	Delta L(cm)
9,194	8,6	0,594
20,733	20	0,733
8,882	8,6	0,282
20,141	20	0,141

#### 4.1.5 Contoh Hasil Pemotretan

Akusisi data foto menghasilkan ratusan data dan dari data pengambilan tersebut dilakukan seleksi, lalu diperoleh 822 foto yang terseleksi, berikut beberapa hasil dari foto yang dipilih dan digunakan dalam proses rekonstruksi model.



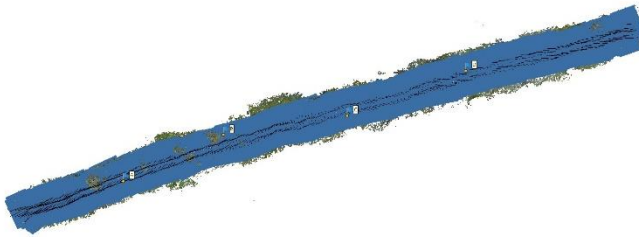
Gambar 4.7 Contoh Foto Terumbu Karang pada Area Pemetaan a.)Jenis *Acropora Tabulate* (ACT) b.) Jenis *Coral Foliose*(CF)

#### 4.1.6 Model 3D

Model dibentuk dari 822 yang telah diseleksi sebelumnya dan dari 822 foto yang dipilih terdapat 818 foto yang bisa terproses dan diperoleh hasil berikut:

Hasil dari model yang diperoleh dari beberapa tahapan :

1. Pemodelan menggunakan 818 foto yang digunakan dan menghasilkan kumpulan titik sebagai berikut:



Gambar 4.8 *Alignment* Foto

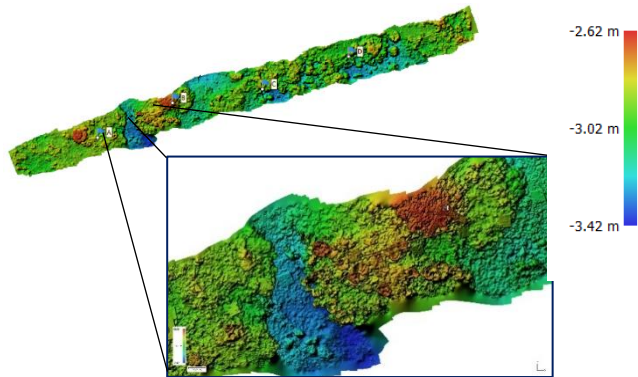
Proses *alignment* menghasilkan model visual awal dari terumbu karang. Foto yang dipilih telah mampu memenuhi area yang telah ditentukan.

2. Model yang telah di interpolasi dengan metode triangulasi kemudian dilakukan pewarnaan teksturnya. Berikut hasil 3D terumbu karang:



Gambar 4.9 Bentuk 3D Model

3. Model 3D yang terbentuk kemudian bisa dirubah kedalam bentuk DEM, dan menghasilkan rentang kedalaman yakni berkisar antara 2,62 m hingga 2,42 m. Gradasi warna merupakan panduan dalam membaca kedalaman dari model yang dihasilkan. Berikut penggambaran dari DEM yang dihasilkan pada terumbu karang:

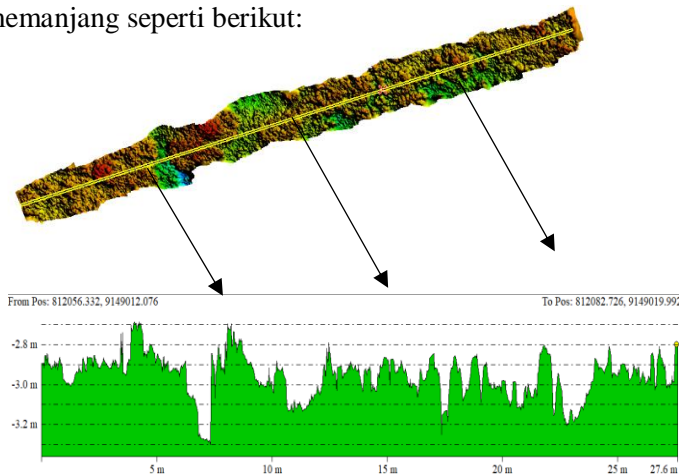


Gambar 4.10 DEM

Pemodelan menunjukan pada area berwarna merah merupakan area dengan kedalaman paling dangkal dimana berada pada kedalaman -2,62 m, sedangkan pada area berwarna biru menunjukkan angka 3,42 m.

4. Penggambaran Profil Memanjang dan Melintang

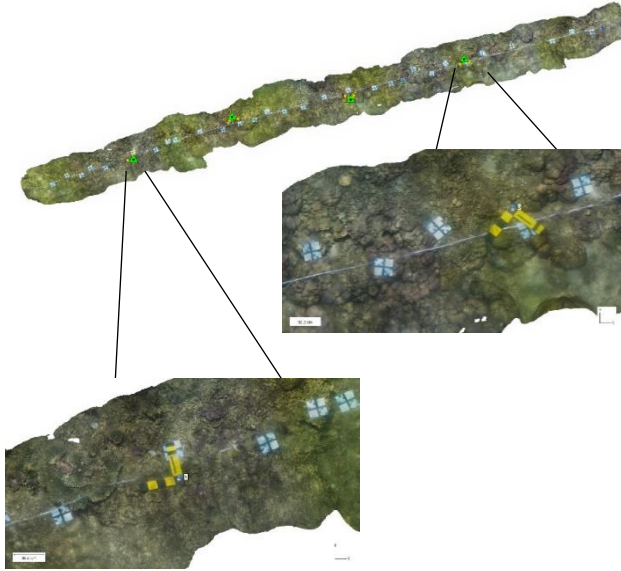
Hasil DEM kemudian bisa dibentuk menjadi profil memanjang seperti berikut:



Gambar 4.11 Profil Memanjang Terumbu Karang

#### 4.1.7 *Orthophoto*

Model 3D yang telah dihasilkan kemudian di proses lebih lanjut untuk menghasilkan *Orthophoto*. *Orthophoto* yang dihasilkan berupa berikut :



Gambar 4.12 *Orthophoto*

Hasil dari pembuatan menghasilkan area memanjang sejajar dengan garis pantai dengan dimensi 25 m x 2 m.

#### 4.1.8 Peta Terumbu Karang

*Orthophoto* yang telah dibuat dari model 3D kemudian dibentuk menjadi dan dari *Orthophoto* tersebut kemudian dilayout dengan mempertimbangkan kebutuhan yang ada. (Hasil dari peta bisa dilihat pada bagian lampiran)



## 4.2 Analisa

### 4.2.1 Analisa Hasil Pengukuran Titik Kontrol Darat

Dua titik yang berada di darat diukur menggunakan GPS Geodetik dengan lama pengukuran 1 jam dimana menggunakan metode radial dan menggunakan koreksi dari *CORS Online* dari BIG sehingga nilai dari pengukuran pada base diberikan koreksi secara *online* dari pengamatan yang lebih panjang tersebut.

Adjustment type: **Plane + Height, Minimal constraint**  
 Confidence level: **95 %**  
 Number of adjusted points: **2**  
 Number of plane control points: **1**  
 Number of used GPS vectors: **1**  
 A posteriori plane UWE: **1**, Bounds: ( **1** , **1** )  
 Number of height control points: **1**  
 A posteriori height UWE: **1**, Bounds: ( **1** , **1** )

Used GPS Observations

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BASE-ROVER	-11,296	-6,286	-0,088	0,003	0,005

GPS Observation Residuals

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BASE-ROVER	-11,296	-6,286	-0,088	0,003	0,005

Control Points

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
BASE	9148850,426	812164,164	49,284	

Adjusted Points

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
ROVER	9148839,130	812157,878	49,196	

Gambar 4.13 Analisa Data GPS

Nilai kesalahan yang dihasilkan masuk dalam selang ketelitian dari spesifikasi GPS geodetik (3 mm) sehingga kedua titik tersebut bisa digunakan sebagai acuan pengukuran dari *Total station*.

### 4.2.2 Analisa Hasil Pengukuran Total Station

Titik yang digunakan sebagai titik acuan dalam pengukuran TS adalah BM 1 dan BM 2 sebagai titik

backsight. Dari BM1 kemudian dilakukan pembidikan dari titik dilaut dengan masing-masing dibidik sebanyak 5 kali, sebagai ukuran lebih. Kemudian dari nilai bidikan tersebut dilakukan perataan parameter guna memperoleh nilai koreksi koordinat dari titik yang berada di laut.

Penentuan ketelitian titik tersebut, secara geometrik dilakukan korelasi terhadap unsur-unsur ketelitian yakni antara varians dan kovariansi titik tersebut . Berikut nilai dari titik tersebut ketika diuji dengan *error elips*:

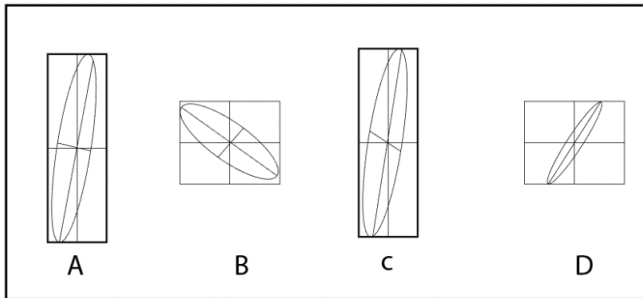
$$P = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

A  $P_{xy} = 0,2$

B  $P_{xy} = -0,2$

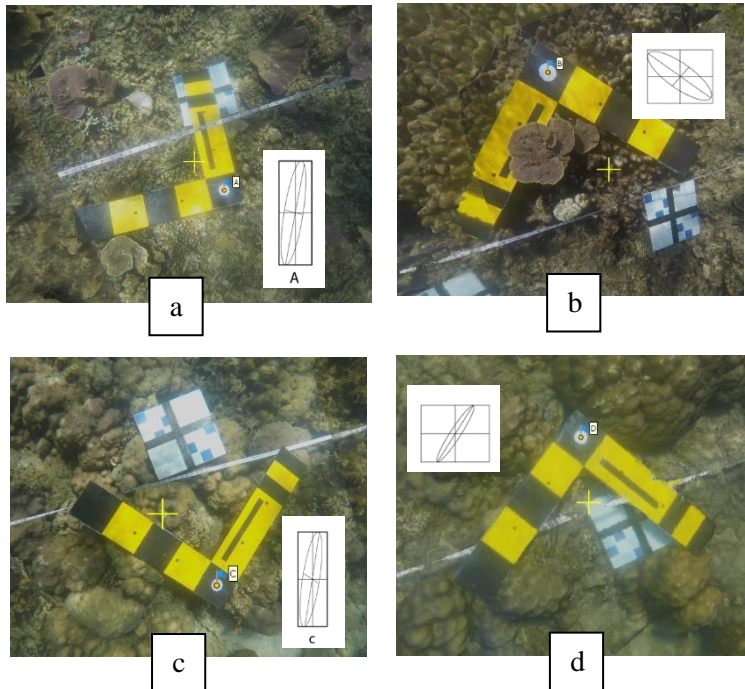
C  $P_{xy} = 0,5$

D  $P_{xy} = -0.8$



Gambar 4.14 *Error Elips* Titik Kontrol

Dari penggambaran *error ellips*, gambar yang condong utara-selatan merupakan titik yang presisi, sedangkan timur-barat merupakan titik yang kurang presisi dan dari keempat titik yang ada, titik B merupakan titik yang paling presisi. Titik D merupakan titik dengan presisi dan akurasi yang rendah, karena memiliki nilai standar deviasi yang rendah .



Gambar 4.15 Dokumentasi Titik Kontrol di Lapangan, (a) Titik A, (b) Titik B, (c) Titik C, dan (d) Titik D.

Berikut kondisi yang diberikan apabila dilihat dokumentasi di lapangan titik A dan C memiliki posisi dengan faktor kemiringan yang cukup besar, sehingga memiliki potensi perambatan kesalahan yang cukup besar. Ketika nilai titik kontrol dimasukkan pada model nilai kesalahan yang dihasilkan berupa 0,038 m pada titik kontrol dan *error* piksel 0,576 pix.

#### 4.2.3 Analisa Hasil Kalibrasi Kamera

Dari perhitungan menggunakan *software Matlab* diperoleh nilai kalibrasi sebagai berikut:

```

Camera Intrinsics
    IntrinsicMatrix: [3×3 double]
    Focallength: [1×2 double]
    PrincipalPoint: [1×2 double]
    Skew: 8.7944
    RadialDistortion: [-0.1115 0.1059]
    TangentialDistortion: [-0.0024 -0.0056]
    ImageSize: [3000 4000]

Camera Extrinsics
    RotationMatrices: [3×3×12 double]
    TranslationVectors: [12×3 double]

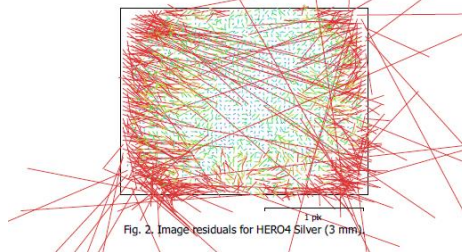
Accuracy of Estimation
    MeanReprojectionError: 1.1004
    ReprojectionErrors: [54×2×12 double]
    ReprojectedPoints: [54×2×12 double]

Calibration Settings
    NumPatterns: 12
    WorldPoints: [54×2 double]
    WorldUnits: 'millimeters'
    EstimateSkew: 1
    NumRadialDistortionCoefficients: 2
    EstimateTangentialDistortion: 1

```

#### Gambar 4.16 Hasil Kalibrasi *Matlab*

Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai dari parameter dengan nilai intrinsik dan ekstrinsik yang dapat di ekstrak. Hasil parameter tersebut kemudian dimasukkan pada software pengolah foto. Berikut hasil yang diperoleh ketika diterapkan nilai dari parameter kalibrasi pada model 3D:



Gambar 4.17 Arah Distorsi pada Lensa

Muncul garis merah tak beraturan yang menandakan kesalahan acak pada daerah tepi foto, dimana distorsi yang terjadi pada obyek tidak merata. Berikut nilai dari koefisien kalibrasi dari model yang dihasilkan:

Tabel 4.5 Koefisien Kalibrasi pada Model.

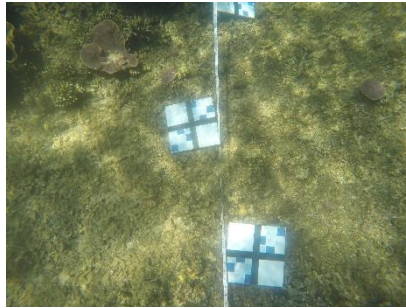
	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	2386	0.27	1.00	0.38	-0.82	-0.06	0.06	-0.12	0.11	-0.08	0.12	-0.11	0.02	-0.03	-7
Cx	12.7758	0.05		1.00	-0.35	0.09	-0.21	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.34	-0.10	0.23	-0.29
Cy	-22.5512	0.075			1.00	0.09	-0.02	0.01	-0.01	-0.01	-0.03	0.03	0.21	-0.03	0.11
B1	-5.30199	0.08				1.00	0.01	0.00	-0.00	0.01	0.00	-0.02	0.07	0.00	-0.01
B2	-9.40334	0.082					1.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.03	-0.02	-0.01	0.03
K1	0.206547	0.00027						1.00	-0.96	0.91	-0.85	0.09	-0.13	0.09	-0.07
K2	0.243842	0.0019							1.00	-0.98	0.95	-0.06	0.03	-0.07	0.08
K3	-0.138373	0.0054								1.00	-0.99	0.05	-0.03	0.07	-0.09
K4	0.584066	0.0052									1.00	-0.06	0.02	-0.08	0.10
P1	-0.00230178	1.5e-05										1.00	-0.67	0.91	-0.70
P2	0.000911211	8.5e-06											1.00	-0.63	0.47
P3	0.236485	0.033												1.00	-0.90
P4	2.62975	0.037													1.00

#### 4.2.4 Pengolahan Model 3D

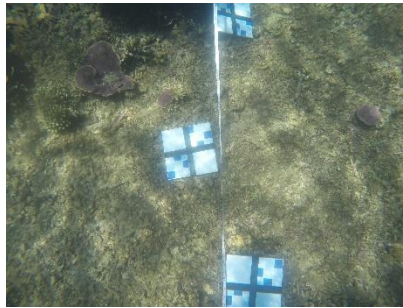
Model 3D terumbu karang yang dihasilkan diperoleh adalah sebagai berikut, dimana terdapat

- 662364 *sparse cloud* menggunakan *settings highest* (proses ini memakan 55 menit 40 detik)
- Dense cloud 36541885 titik menggunakan *settings medium-mild* (proses ini memakan waktu 12 jam 46 menit 28 detik)
- 7309002 *faces* menggunakan *Medium-Arbitrary* (proses ini memakan waktu 47 menit 34 detik)

Pada pengaturan *alignment* yakni menggunakan *highest* untuk memaksimalkan jumlah foto yang bisa digabungkan namun dari 822 foto yang dipilih hanya 818 foto yang bisa membentuk titik sekutu dalam penggambaran model 3D terumbu karang. Dalam proses tersebut memerlukan foto dengan tingkat overlaps >75% dan berikut salah contoh dari penggambaran overlaps dari data pemotretan:



(a)



(b)

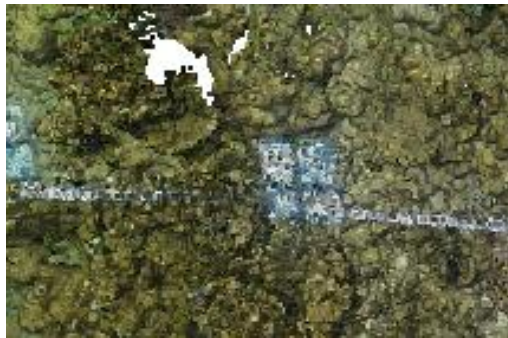
Gambar 4.18 *Overlaps* dari Dua Foto

Gambar a dan b merupakan foto yang *overlaps*, selang pengambilan dari pengambilan kedua foto tersebut adalah 0,5 detik, namun terjadi perubahan warna yang cukup signifikan. Hal tersebut seperti rona, bayangan, perubahan tersebut terjadi karena pencahayaan, dimana terjadi penyerapan gelombang merah pada medium air sehingga *true color* yang muncul dari obyek berbeda dengan aslinya. Perbedaan yang cukup signifikan tersebut menjadikan kelemahan dari metode *SfM* karena basis dasar metode *SfM* adalah persamaan titik sekutu dari tiap foto sehingga bisa memperoleh model 3D, namun apabila dari titik foto tersebut tidak ditemukan titik serupa yang sama, maka model 3D tersebut tidak bisa terbentuk.

*Dense Cloud* 36.541.885 points pada *setting* diturunkan menjadi *medium quality*, menggunakan *setting mild*. Fungsi *mild* disini adalah mengeluarkan detail dan mempersingkat waktu dari pembuatan 3D terumbu karang karena keterbatasan dari perangkat keras untuk memproses dalam mode *high* atau *ultra high*. Berikut hasil dari *dense cloud*:



(a)



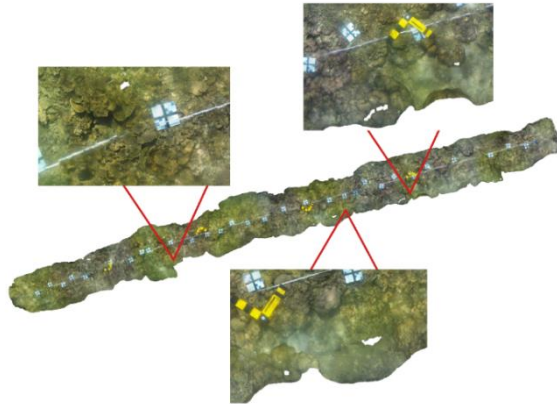
(b)

Gambar 4.19 *Dense Cloud* Model a) Model 3D terumbu karang yang bisa termodelkan secara penuh, (b) Model 3D yang belum bisa terbentuk utuh.





Sehingga menyebabkan pertampalan dari obyek menjadi kurang dan terdapat beberapa spot dari area *mapping* yang menjadi *blank spot*. Contoh dari *blank spot* karena pertampalan yang kurang seperti berikut:

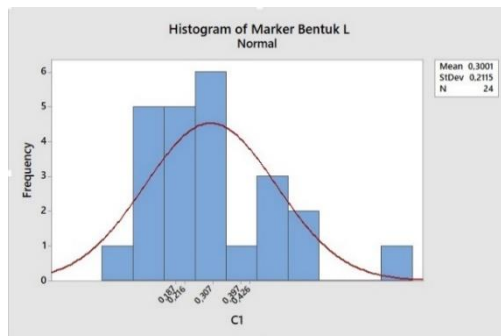


Gambar 4.21 Contoh Area *Blank Spot* pada Foto Tegak yang Dihasilkan.

#### 4.2.5 Analisa Hasil Uji Linier

##### A. Uji-t

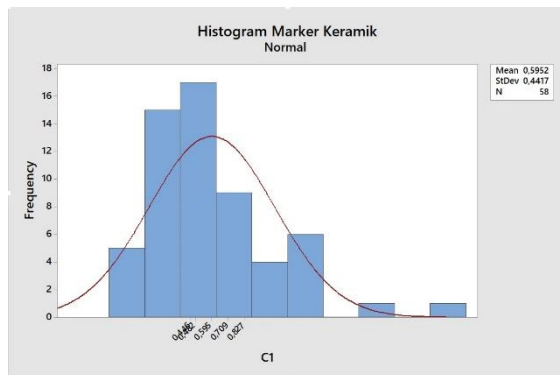
Dari hasil uji *Marker L* dan *Marker K* dari data pada tabel 4.3 menghasilkan data statistik sebagai berikut:



Gambar 4.22 *Marker L*

Data *Marker L* diuji menggunakan probabilitas distribusi normal (uji t) pada selang kepercayaan 95% yakni ( 0,216 untuk selang bawah dan 0,397 untuk selang atas) dan 99% (0,187 untuk selang bawah dan 0,426 untuk selang atas) jumlah data yang masuk dalam selang tersebut, adalah sebanyak 8 data, yakni hanya  $10/24 = 33,3\%$  pada uji 95% dan 10 pada 99% data atau 41,7% data yang masuk dalam uji kepercayaan tersebut.

Pada *marker K (Marker Keramik)* berbentuk persegi juga dilakukan pengujian yang sama namun jumlah sampel yang diambil jauh lebih banyak yakni 58 sampel. Hasil yang diperoleh sebagai berikut :



Gambar 4.23 *Marker K*

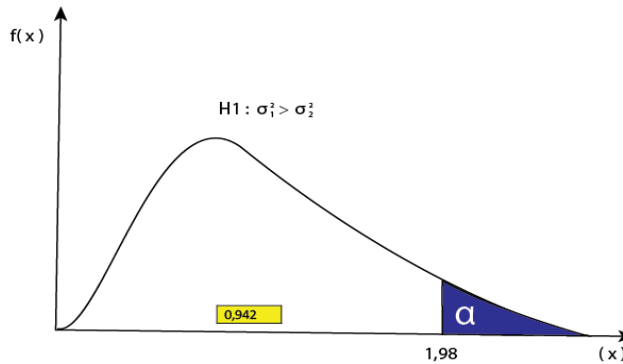
Data yang masuk dalam selang 95% yakni ada 10 data, sedangkan pada uji 99% menunjukkan 15 data. Nilai persentase menunjukkan hanya sebagian kecil data ( $\leq 50\%$ ) pengukuran dipercaya dalam ketelitian tersebut.

Sehingga pada kedua data tersebut ketika diuji menggunakan nilai uji-t, tidak masuk dalam selang yang telah ditentukan karena adanya keragaman yang tinggi dalam kedua data tersebut, disisi lain adanya perambatan kesalahan dari titik kontrol yang digunakan.

### B. Uji F

Uji F dilakukan untuk melakukan uji signifikansi data secara serentak. dengan nilai  $\alpha = 0,05$ . Data diasumsikan sebagai kedua populasi dan kedua sampel yang berbeda.

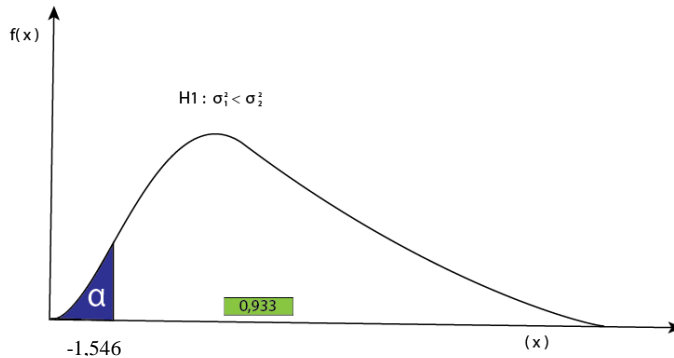
Dari grafik populasi pada *marker* L, dengan jumlah populasi adalah 24, dimana varians  $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$  :



Gambar 4.24 Grafik F untuk *Marker* L

Data dari *marker* L tersebut adalah  $F = 0,942$ , sehingga secara serentak terletak di sebelah kiri pada selang  $H_0$  ( 1,98) dimana nilai tersebut dinyatakan lolos pada uji F. Sehingga nilai tersebut bisa dinyatakan dipercaya nilai akurasi secara serentak.

Pada *marker* K juga dilakukan hal serupa dengan memakai sampel sebanyak 58. Nilai  $\alpha = 0,05$  dengan nilai bacaan pada tabel F yakni -1,546. Nilai varians  $\sigma_1^2 < \sigma_2^2$ , sehingga menghasilkan grafik berkebalikan seperti berikut :



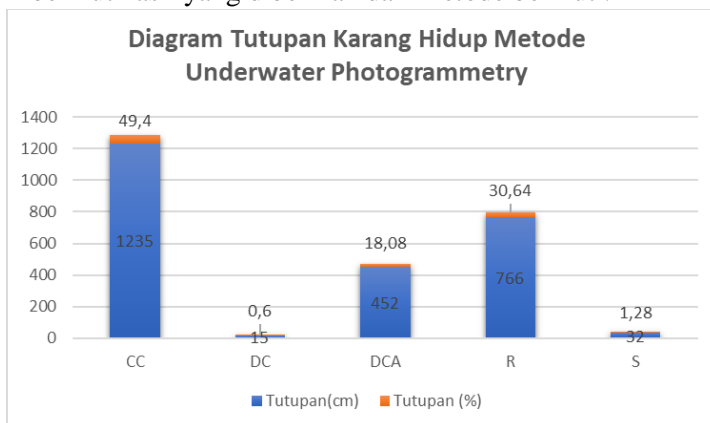
Gambar 4.25 Hasil Uji- F untuk *Marker K*

Nilai dari F yang dihasilkan 0,933, dimana nilai tersebut berada di daerah kanan  $H_0$ . Sehingga nilai dari tersebut masih masuk dalam uji serentak, sehingga data tersebut bisa digolongkan data yang akurat.

#### 4.2.6 Hasil Perbandingan *Orthophoto* Menggunakan Metode *LIT*

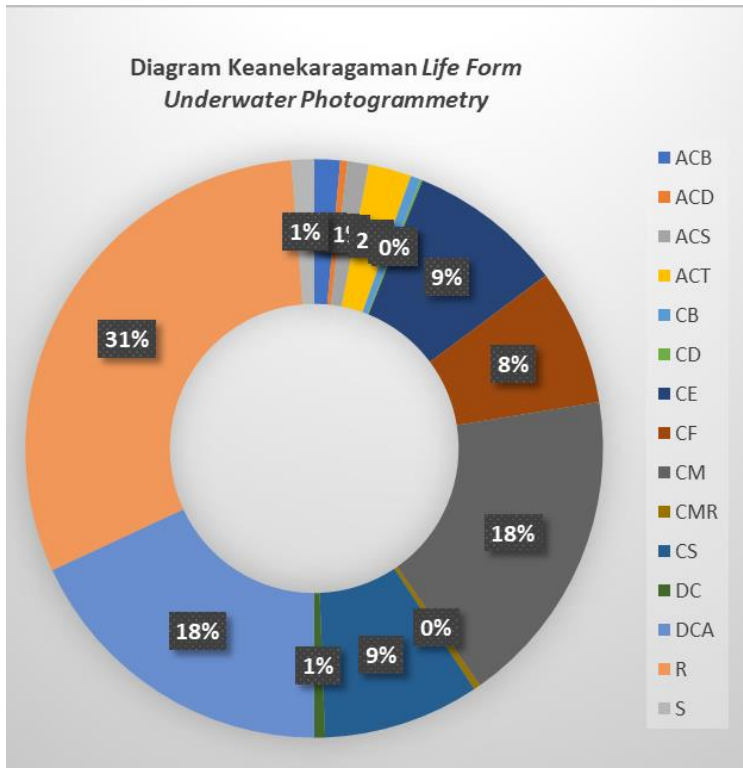
##### A. Hasil Penggunaan *Orthophoto* dengan Metode *LIT*

Hasil dari pemodelan kemudian di proses lebih lanjut dan dianalisa menggunakan metode *LIT* (*Line Intercept Transect*) berikut hasil yang diberikan dari metode berikut :



Gambar 4.26 Diagram Tutupan Karang Hidup dari Data *Underwater Photogrammetry*

Pada proses analisa model dengan panjang 25m diperoleh tutupan karang, dengan besar dari tutupan karang hidup yakni 49,4 % dimana karang yang berada pada lokasi tersebut masih dikategorikan sebagai tutupan karang sedang (25% - 49,9%). Analisa keanekaragaman terumbu karang dilakukan dan diperoleh grafik sebagai berikut:



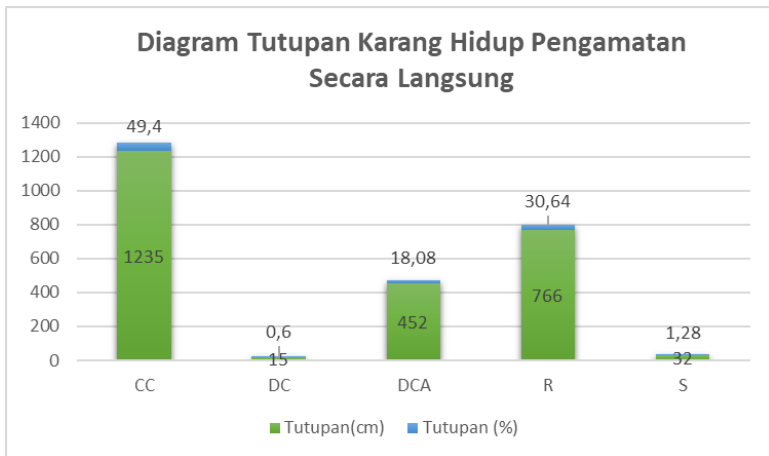
Gambar 4.27 Diagram Keanekaragaman *Life Form*  
*Underwater Photogrammetry*

Hasil menunjukkan bahwa pada area yang dimodelkan memiliki dominasi jenis *life form* yaitu 18,08% *DCA*(*Death Coral with Algae*), 17,84% *CM* (*Coral Massive*), dan *Rubble*

sebesar 31%. *Rubble* merupakan pecahan karang mati yang berserakan. Jenis *life form* CD, ACD(*Acropora Ditata*) memiliki nilai yang kecil dengan nilai kurang dari 1%. Ilustrasi lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 5.

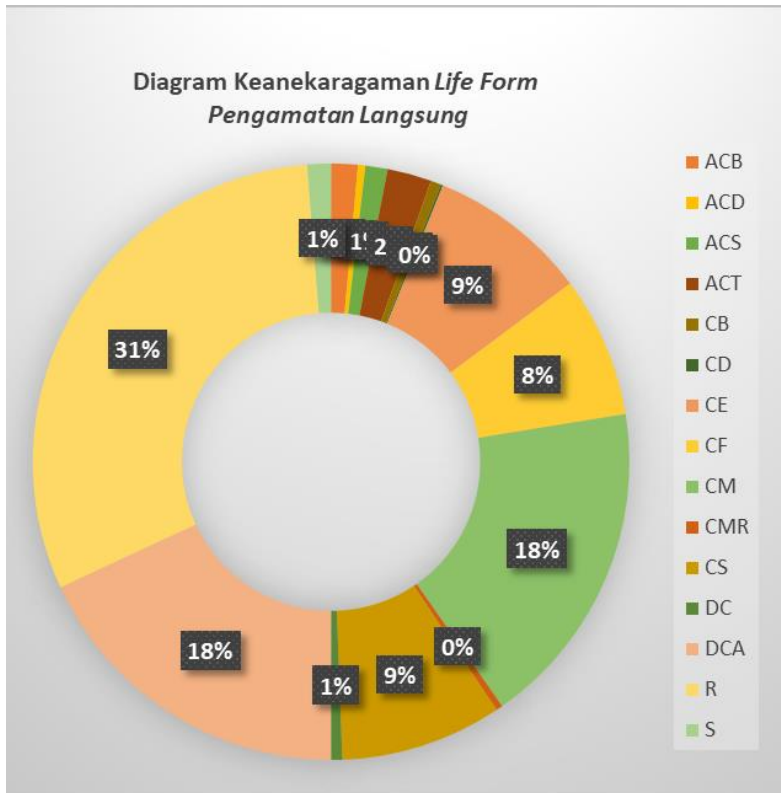
#### B. Hasil dari Data Pengamatan Langsung

Data pengamatan *LIT* secara langsung menghasilkan nilai pengamatan dengan hasil berikut :



Gambar 4.28 Diagram Tutupan Karang Pengamatan Langsung

Hasil pengamatan menunjukkan hasil dimana, tutupan karang hidup yang diperoleh menghasilkan nilai tutupan karang sebesar 49,4%. Nilai tutupan ini masuk pada rentang tutupan karang sedang (25% - 49,9%). Pada analisa keanekaragaman *lifeform* diperoleh nilai dengan persebaran sebagai berikut:



Gambar 4.29 *Life Form* pada Pengamatan Langsung

Hasil dari pengamatan langsung menunjukkan nilaiutupan yang dominan berada pada 18,08% *DCA*(*Death Coral with Algae*), 17,84% *CM* (*Coral Massive*), dan *Rubble* sebesar 31%. Pengamatan dari kedua hasil tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui seberapa besar nilai kepercayaan dari aplikasi metode ini, berikut hasil yang diperoleh:

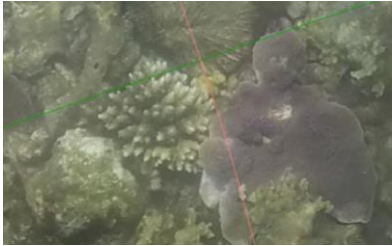

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Analisa *LIT*

Analisa Metode Underwater Photogrammetry dengan <i>LIT</i>			Analisa Metode Pengamatan Langsung		
Jenis	Tutupan(cm)	Tutupan (%)	Jenis	Tutupan(cm)	Tutupan (%)
CC	1235	49,4	CC	1235	49,4
DC	15	0,6	DC	15	0,6
DCA	452	18,08	DCA	452	18,08
R	766	30,64	R	766	30,64
S	32	1,28	S	32	1,28
Jenis	Sum of Jarak (cm)	Lifeform (%)	Jenis	Sum of Jarak (cm)	Lifeform (%)
ACB	36	1,44	ACB	36	1,44
ACD	10	0,4	ACD	10	0,4
ACS	30	1,2	ACS	30	1,2
ACT	60	2,4	ACT	60	2,4
CB	14	0,56	CB	14	0,56
CD	3	0,12	CD	3	0,12
CE	217	8,68	CE	217	8,68
CF	191	7,64	CF	191	7,64
CM	446	17,84	CM	446	17,84
CMR	9	0,36	CMR	9	0,36
CS	219	8,76	CS	219	8,76
DC	15	0,6	DC	15	0,6
DCA	452	18,08	DCA	452	18,08
R	766	30,64	R	766	30,64
S	32	1,28	S	32	1,28

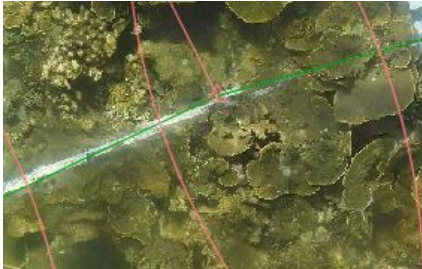

Pengamatan dari kedua metode tersebut menunjukkan hasil nilai tutupan karang dan keanekaragaman *LIT* dengan tingkat signifikansi kepercayaan ketika di aplikasi metode sebesar 100%. Untuk mendukung data tersebut, berikut beberapa contoh visualisasi dari perbandingan hasil yang diperoleh pada pengamatan dengan kedua metode tersebut:



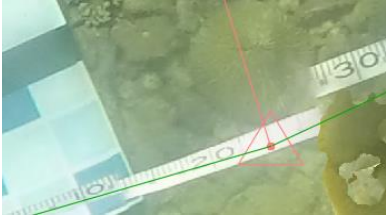
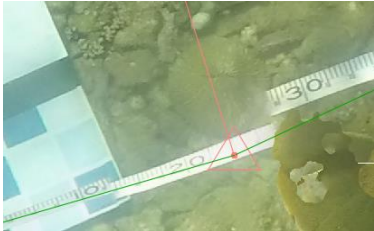
Tabel 4.7 Hasil Perbandingan Metode

Jenis	Keterangan		Ket.
	Lokasi	Ilustrasi	
ACB ( <i>Acropora Branching</i> )	412		UP
	412		M

Lanjutan tabel 4.7

Jenis	Keterangan		Ket.
	Lokasi	Ilustrasi	
CF <i>(Coral Foliose)</i>	626		UP
	626		M

Lanjutan tabel 4.7

Jenis	Keterangan		Ket.
	Lokasi	Ilustrasi	
CMR ( <i>Coral Mushroom</i> )	416		UP
	416		M

## Keterangan

UP = Metode *Underwater Photogrammetry*

M = Metode Manual (pengamatan langsung)

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemetaan terumbu karang dengan menggunakan metode *underwater photogrammetry* algoritma *SfM* berhasil dilakukan. Hasil yang diperoleh menghasilkan peta skala 1:100 dengan *GSD foto* 0,395 mm/pixel. Ketelitian dihasilkan melalui uji statistik dan perataan memperoleh nilai pada daerah  $H_0$  pada Uji F.
2. Pemodelan terumbu karang menghasilkan model 3D dan telah membantu para ahli biologi untuk melakukan analisa terumbu karang (metode *LIT*) dengan hasil perbandingan menunjukkan signifikasi 100% .

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang diberikan pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan kamera dengan spesifikasi lebih tinggi, agar diperoleh detail dan warna yang lebih bagus. Penggunaan filter warna magenta atau merah dapat digunakan untuk mengurangi penyerapan gelombang biru pada medium air sehingga diperoleh *true color* dari terumbu karang.
2. Meningkatkan metode penentuan posisi yang lebih baik agar diperoleh nilai ketelitian yang lebih kecil.
3. Melakukan akusisi pada area yang lebih dalam agar diperoleh keragaman terumbu karang.
4. Menggunakan wahana berupa *ROV (Remotely Operated Vehicle)* agar diperoleh jalur pemotretan yang rapi dan cakupan dari akusisi data bisa lebih luas.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Anshari, Muhammad Fikri., dan Cahyono, Agung Budi. 2015.” Kalibrasi Kamera Non Metrik Digital pada Kegiatan Fotogrametri Bawah Air”. GEOID, 52-56.
- Balleti, C., Guerra, F ., Tsioukas V., dan Vernier, P. 2014. "Calibration of Action Cameras for Photogrammetric Purpose". Sensors, 17471-17490.
- Besl, P.J., Member., IEEE., dan Neil D. Mckay. 1992. "A Method for Registration of 3-D Shapes". IEEE Transaction on pattern Analysis and Machine Intelegence, Vol 4 No. 2.
- Bryson, M., dkk. 2017. "Characterization of Measurement Errors using Structure-from-Motion and Photogrammetry to Measure Marine Habitat Structural Complexity". Ecology and Evolution, 5669-5681.
- Burns, JHR., Delparte, D., Gates, R.D., dan Takabayashi, M. 2015. "Integrating Structure-from-Motion Photogrammetry with Geospatial Software as a Novel Technique for quantifying 3D Ecological Characteristics of Coral Reefs". PeerJ.,
- Cassela, E ., dkk. 2017 . "Mapping Coral Reefs Using Consumer-grade Drones and Structure." Coral Reef ,: 269-275.
- Cipolla, R., 2008 Machine Intelligence Laboratory. <URL: <http://mi.eng.cam.ac.uk/~cipolla/publications/contributionToEditedBook/2008-SFM-chapters.pdf>>. Dikunjungi pada tanggal 13 januari 2018, jam 11.00.
- Dean , A., dan Kleine, D. 2011. “Terumbu Karang dan Perubahan Iklim”. Queensland: Coral Watch Indonesia.
- English, S., C. Wilkinson, dan V. Baker. 1994. Survey Manual for Tropical Marine Resources. ASEAN – Australia Marine Science Project: Living Coastal Resources.
- Fan, H., dan Meng, L. 2009. "Automatic Derivation of Different Levels of Detail for 3D Buildings Modeled by CityGML." ICC . Munich: International Graduate School of Science and

- Engineering Departement of Cartography, Technische Universität München Arcisstr.
- Fritsch, D. 2015. *Advances in Close-Range Photogrammetry* Uni-Stuttgart. <URL:<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo15/260Fraser.pdf>>. Dikunjungi pada 14 Januari 2018, jam 11.23.
- Giyanto, dkk. 2014. "Panduan Monitoring Kesehatan Terumbu Karang". Bogor: PT. Sarana Komunikasi Utama.
- Giyanto, dkk. 2017. "Status Terumbu Karang Indonesia 2017". Jakarta: Puslit Oseanografi - LIPI.
- Gleason, A.C.R., dan Reid, R.P. 2007. "Automated Classification of Underwater Multispectral Imagery for Coral Reef Monitoring". OCEANS.
- Harintaka, Subaryono, Susanto, A., & Hartono. 2009. *Pemodelan Ketidakstabilan Kamera Dan Gerakan Pesawat Pada Saat Pemotretan Foto Udara Format Kecil*. Yogyakarta: Universitas Gajahmada.
- Hastedt, H., Ekkel, T., and Luhmann, T. 2016. "Evaluation of the Quality of Action Cameras with Wide-Angle Lenses in UAV Photogrammetry". IPRS. Prague.
- Hill, J., dan Wilkinson, C. 2004. "In Method for Ecological Monitoring of Coral Reefs". 39. Los Angeles: Australian Institute of Marine Science.
- Huffard, CL., Erdmann, MV., Gunawan, T. 2012. "Geographical Priority of Marine Biodiversity for Development of Water Conservation Area in Indonesia. Ministry of Maritime Affairs and Fisheries & Marine Protected Areas Governance Program". Jakarta-Indonesia. 105 pp.
- Kirsty, 2016. *Ekspedisi Taman Nasional Bali Barat*. <URL: <https://newheavenreefconservation.org/learning-resources/explore-topics/reef-monitoring-techniques>> dikunjungi pada tanggal 1 Juli 2018, jam 18.53.
- Lam, K., dkk. 2006. "A Comparison of Video and Point Intercept Transect Methods for Monitoring Subtropical Coral



- Communities". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*: 115-128.
- Leon, J.X., Roelfsem, C.M., Saunders, M.I., dan Phinn, S.R. 2015. "Measuring Coral Reef Terrain Roughness Using 'Structure-from-Motion'". *Geomorphology* 242: 21-28.
- Lilis, G., Rovas, D.V., dan Prieto, I. 2016. "Second-level Space Boundary Topology Generation from CityGML inputs". *Building Simulation Optimization*. Newcastle : Georgios Nektarios Lilis.
- Lin, J., dan Chio, S. 2012. "The Accuracy Influence of Different Camera Calibration Conditions to Bundle Adjustment of Close Range Images". *The 33rd Asian Conference on Remote Sensing*. Pattaya: ASRS,
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S, dan Harley, I. 2006. *Close Range Photogrammetry : Principles, Techniques and Applications*. Scotland: Whittles Publishing.
- Marshall, A. 1989. "R. Network Design And optimisation in close range photogrammetry". New South Wales: University of New South Wales,
- Menna, F., Nocerino, E., Fassi, F., dan Remondino, F. 2016. "Geometric and Optic Characterization of a Hemispherical Dome Port for Underwater Photogrammetry". *Sensors*: 16-48.
- Moisan, E., dkk. 2015. "Building a 3D reference Model for Canal Tunnel Surveying using Sonar and Laser Scanning". *ISPRS*, 2015: Volume XL-5/W5.
- Raoult, Vincent, dkk .2016. "GoProsTM as an underwater photogrammetry tool for citizen science". *PerrJ*: 1-18.
- Silvatti, Amanda Piaia., Fabio Augusto Salve Dias., Pietro Cerveri., dan Ricardo M.L Barros. . 2012. "Comparison of Different camera calibration approaches for Underwater Applications." *Jurnal of Biomechanics*: 1112-1116.
- Sukmara, A., Siahainia, A.J, dan Rotinsulu, C.2001. "Panduan pemantuan Terumbu Karang Berbasis-Masyarakat dengan

- Metode Manta Tow”. Jakarta: Proyek Pesisir, Narragansett, Rhode Island.
- Szeliski, R. 2010. *Computer Vision: Algorithms and*. Berlin: Springer.
- Wenhao, F. 2001. "Control Work in Close Range Photogrammetry". *Geo-spatial Information Science* : Vol 4 No.4 p 66-72.
- Wilson, J.R., dan Green, A.L. 2009. “Metode Pemantuan Biologi untuk Menilai Kesehatan Terumbu Karang dan Efektifitas Pengelolaan Kawasan Konservasi Laut di Indonesia (Terjemahan)”. Bali: TNC Indonesia Marine Program.
- Wolf, P.R. 1974. “Elements of Photogrammetry with Applications in GIS” . Amerika: McGraw-Hill.
- Yilmaz, Ozgur., dan Karakus., F . "Stereo and Kinect fusion for continuous." *IEEE*. Japan: Nara, 2015.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Pengolahan GPS



#### Project Summary

Project name: **TA ANDRE 2.ttp**

Surveyor:

Comment:

Linear unit: **Meters**

Projection: **UTMSouth-Zone\_49 : 108E to 114E**

Geoid:

#### Adjustment Summary

Adjustment type: **Plane + Height, Minimal constraint**

Confidence level: **95 %**

Number of adjusted points: **2**

Number of plane control points: **1**

Number of used GPS vectors: **1**

A posteriori plane UWE: **1**, Bounds: ( **1** , **1** )

Number of height control points: **1**

A posteriori height UWE: **1**, Bounds: ( **1** , **1** )

#### Control Points

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
BASE	9148850,426	812164,164	49,284	

#### Adjusted Points

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
ROVER	9148839,130	812157,878	49,196	

Lampiran 2. Dokumentasi Data Pengolahan TS

Station		Azimuth		Bacaan Sudut		Tinggi Alat		X		Y		Z	
BM1	BM2			209,09507025	0°00'00"	0		1,296	812164,164			9148850,426	0

Tinggi Ta	Hz Ang	Vt Ang	Jarak Miring	Hz Ang	Vt Ang	Sudut dari	Azimuth	Jarak Data
2,5		90,49944	192,81047	117,6368606	90,49944	-1,48225	90,42694	192,8031
2,5		90,42694	192,27986	119,1191113	90,42694	0	90,42694	192,2745
2,5		90,49828	190,3756	120,5600421	90,49828	1,440931	90,42694	190,3684
2,5		90,54156	189,56273	122,1184492	90,54156	2,999338	90,42694	189,5543

stdev1	0,144417796	0,046030425	0,01718139
var1	0,0208565	0,0021188	0,0002952
stdev2	0,021718656	0,026235472	0
var2	0,0004717	0,0006883	0
stdev3	0,147516779	0,047752487	0,00130384
var3	0,0217612	0,0022803	1,7E-06
stdev4	0,067790117	0,081827257	0,00130384
var4	0,0045955	0,0066957	1,7E-06

Nama Titik	Easting(m)	Northing(m)	Tinggi(m)
A	812061,258	9149013,493	-2,885
B	812065,605	9149015,508	-2,637
C	812070,814	9149016,241	-2,859
D	812075,751	9149018,178	-2,996

Lampiran 3. Perhitungan Uji-t pada *Marker L*

No	L'	L	[Delta L]	$\wedge^2$
1	20,070	20,000	0,070	0,005
2	9,472	10,000	0,528	0,279
3	9,468	10,000	0,532	0,283
4	4,503	5,000	0,497	0,247
5	9,442	10,000	0,558	0,312
6	19,630	20,000	0,370	0,137
7	9,730	10,000	0,270	0,073
8	9,116	10,000	0,884	0,781
9	9,841	10,000	0,159	0,025
10	4,779	5,000	0,221	0,049
11	9,963	10,000	0,037	0,001
12	9,663	10,000	0,337	0,113
13	9,801	10,000	0,199	0,040
14	10,144	10,000	0,144	0,021
15	4,949	5,000	0,051	0,003

e95	e99
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
1	1
1	1
0	0
0	0
1	1
0	0,000
1	1,000
0	1,000
0	0,000
0	0,000

No	L'	L	[Delta L]	^2
16	10,268	10,000	0,268	0,072
17	20,173	20,000	0,173	0,030
18	10,059	10,000	0,059	0,003
19	10,266	10,000	0,266	0,071
20	10,103	10,000	0,103	0,011
21	9,682	10,000	0,318	0,101
22	9,788	10,000	0,212	0,045
23	4,668	5,000	0,332	0,110
24	20,617	20,000	0,617	0,381
		MIN	0,037	0,001
		MAX	0,884	0,781
		SUM	7,203	0,133
		AVERAGE	0,300	
		STDEV	0,212	
		RMSE	0,365	
		MIN'	-0,153	
		MAX'	0,512	
		N	24,000	

BATAS ATAS  
BATAS BAWAH

e95	e99
1	1,000
0	0
0	0
1	1
0	0
1	1
0	0
1	1
0	0
8	10
0,333	0,417
0,415	0,545
0,216	0,189
0,385	0,411

Lampiran 4. Perhitungan Uji-t pada *Marker K*

NO	L'	L	[Delta L]	$\wedge^2$	ce95	ce99
1	8,023	8,6	0,577	0,333	1	1
2	18,348	20	1,652	2,730	0	0
3	8,117	8,6	0,483	0,233	1	1
4	18,700	20	1,300	1,690	0	0
5	8,202	8,6	0,398	0,158	0	0
6	18,785	20	1,215	1,477	0	0
7	8,332	8,6	0,268	0,072	0	0
8	18,842	20	1,158	1,342	0	0
9	8,058	8,6	0,542	0,294	1	1
10	18,928	20	1,072	1,150	0	0
11	7,822	8,6	0,778	0,605	0	1
12	18,910	20	1,090	1,188	0	0
13	8,593	8,6	0,007	0,000	0	0
14	19,425	20	0,575	0,331	1	1
15	8,333	8,6	0,267	0,072	0	0
16	19,355	20	0,645	0,416	1	1


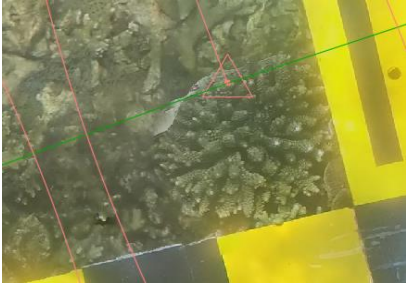
NO	L'	L	[Delta L]	^2		ce95	ce99
17	8,221	8,6	0,379	0,143		0	0
18	19,158	20	0,842	0,710		0	0
19	7,859	8,6	0,741	0,550		0	1
20	18,743	20	1,257	1,580		0	0
21	8,406	8,6	0,194	0,038		0	0
22	17,722	20	2,278	5,191		0	0
23	8,367	8,6	0,233	0,054		0	0
24	18,756	20	1,244	1,547		0	0
25	9,029	8,6	0,429	0,184		0	0
26	19,781	20	0,219	0,048		0	0
27	7,877	8,6	0,723	0,523		0	1
28	19,047	20	0,953	0,908		0	0
29	7,382	8,6	1,218	1,483		0	0
30	19,513	20	0,487	0,238		1	1
31	8,497	8,6	0,103	0,011		0	0
32	19,445	20	0,555	0,308		1	1
33	8,176	8,6	0,424	0,180		0	0

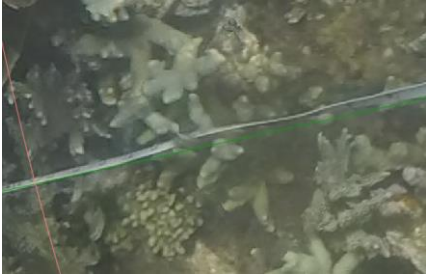
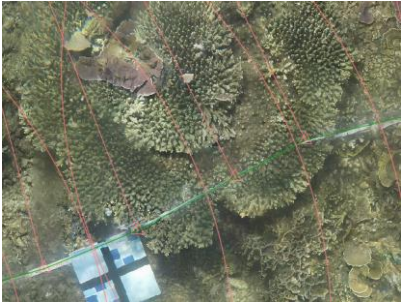
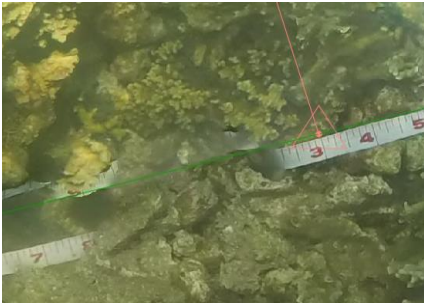


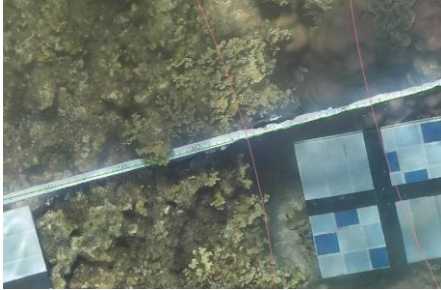

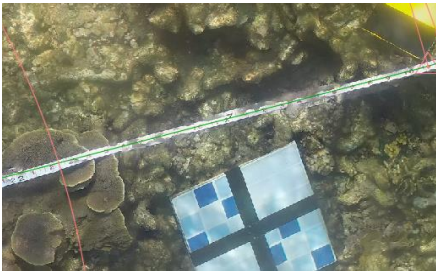
NO	L'	L	[Delta L]	^2	ce95	ce99
34	19,487	20	0,513	0,263	1	1
35	8,979	8,6	0,379	0,144	0	0
36	19,986	20	0,014	0,000	0	0
37	9,000	8,6	0,400	0,160	0	0
38	19,560	20	0,440	0,194	0	0
39	7,621	8,6	0,979	0,957	0	0
40	19,898	20	0,102	0,010	0	0
41	8,971	8,6	0,371	0,137	0	0
42	19,227	20	0,773	0,598	0	1
43	8,301	8,6	0,299	0,089	0	0
44	20,149	20	0,149	0,022	0	0
45	9,445	8,6	0,845	0,713	0	0
46	20,142	20	0,142	0,020	0	0
47	8,927	8,6	0,327	0,107	0	0
48	19,773	20	0,227	0,052	0	0
49	8,983	8,6	0,383	0,147	0	0

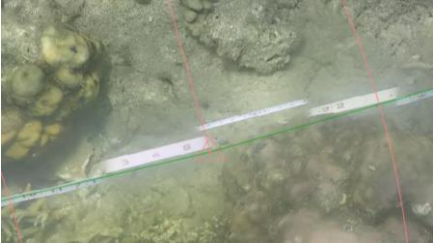

NO	L'	L	[Delta L]	^2	ce95	ce99
50	20,302	20	0,302	0,091	0	0
51	9,449	8,6	0,849	0,722	0	0
52	19,683	20	0,317	0,100	0	0
53	8,650	8,6	0,050	0,003	0	0
54	20,600	20	0,600	0,360	1	1
55	9,194	8,6	0,594	0,353	1	1
56	20,733	20	0,733	0,537	0	1
57	8,882	8,6	0,282	0,080	0	0
58	20,141	20	0,141	0,020	0	0
		N	58		10	15
		AVERAGE	0,595	0,546	0,172	0,259
		RMSE	0,739			
		MIN	0,007		0,482	0,446
		MAX	2,278		0,709	0,827
		STDEV	0,442		ce95	Ce99

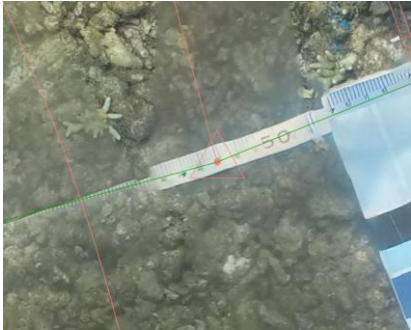

## Lampiran 5. Contoh Klasifikasi Data Karang

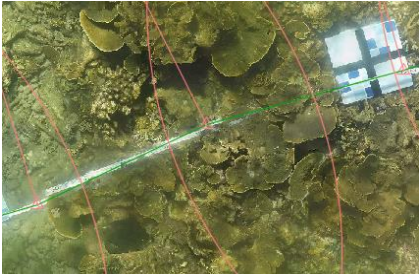


Jenis	Keterangan	
	Lokasi	Ilustrasi
<i>ACB</i> ( <i>Acropora Branching</i> )	412	
<i>ACD</i> ( <i>Acropora Digitate</i> )	372	

Jenis	Keterangan	
	Lokasi	Ilustrasi
<i>ACS</i> ( <i>Acropora Submassive</i> )	1221	
<i>ACT</i> ( <i>Acropora Tabulate</i> )	260	
<i>CB</i> ( <i>Coral Branching</i> )	979	

Jenis	Keterangan	
	Lokasi	Ilustrasi
<i>CS</i> ( <i>Coral Submassive</i> )	412	
<i>DC</i> ( <i>Death Coral</i> )	1233	
<i>DCA</i> ( <i>Death Coral With Algae</i> )	785	

Jenis	Keterangan	
	Lokasi	Ilustrasi
<i>S</i> ( <i>Sand</i> )	2144	
<i>R</i> ( <i>Rubble</i> )	216	

Jenis	Keterangan	
	Lokasi	Ilustrasi
<i>CD</i>	243	
<i>CE</i> ( <i>Coral Encrusting</i> )	213	

Jenis	Keterangan	
	Lokasi	Ilustrasi
<i>CF</i> ( <i>Coral Foliose</i> )	626	
<i>CM</i> ( <i>Coral Massive</i> )	1263	
<i>CMR</i> ( <i>Coral Mushroom</i> )	416	



### Lampiran 6. Pengukuran GPS



Dokumentasi dari pengamatan titik Base (BM 1) dengan menggunakan GPS Geodetik.

### Lampiran 7. Pengukuran Total Station



Dokumentasi pengukuran titik yang berada di laut dengan menggunakan *Total Station*



Pengukuran *Backsight* menggunakan *Total Station*

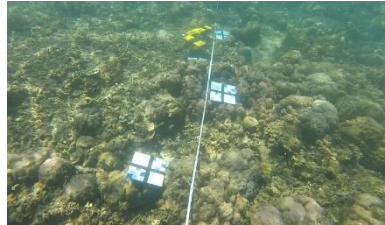


Dokumentasi dari *diver* yang memegang prisma. Prisma digunakan sebagai *reflector* dalam pengukuran titik di laut.

### Lampiran 8. Pemasangan *Marker*



Pemasangan marker titik B pada area *mapping*



Dokumentasi pemasangan *marker L* dan *marker K*

### Lampiran 9. Kalibrasi Kamera



Dokumentasi dari proses pengambilan data untuk kalibrasi kamera

## Lampiran 10. Spesifikasi GPS



Spesifikasi <i>TOPCON HIPER-PRO</i>	
Deskripsi	40 channel terintegrasi dengan GPS+receiver/antenna dengan antarmuka
<b>Spesifikasi Pelacakan</b>	
Saluran	40 L1 GPS (20 GPS L1 + L2 )
Saluran Pelacakan,	20 GPS L1 + L2(GD), GPS L1, GLONASS (GG) 20 GPS L1 + L2 +GLONASS (GGD)
Sinyal yang	L1/L2/C/A and P Code & Carrier dan
<b>Spesifikasi Hasil</b>	
Statik, Rapid Statik	H:3 mm+ 0.5 ppm V:5 mm+ 0.5 ppm
RTK	H:10 mm+ 1 ppm V:15 mm+ 1 ppm

Lampiran 11. Spesifikasi *Total Station*

<b>Specifications Total Station Topcon GTS-250</b>	
<i>Measurement Range</i>	
<i>1 Prism</i>	<i>6560 ft, 2000 meters</i>
<i>3 Prism</i>	<i>8856 ft, 2700 meters</i>
<i>Measuring Accuracy</i>	
<i>Prism Mode</i>	<i><math>\pm(2\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)</math> m.s.e fine; N/A</i>
<i>Measurement Time</i>	<i>1mm: 1.2sec. (Initial 4sec.) fine, 0.2sec. (Initial 3sec.) coarse, N/A</i>
<i>Angle Measurement</i>	
<i>Method</i>	<i>Absolute Reading</i>
<i>Detection</i>	<i>2 horizontal, 1 Vertical</i>
<i>Minimum Reading</i>	<i>5"/1", 1/5 mgon</i>

## Lampiran 12. Spesifikasi Kamera



<b>Spesifikasi</b>	
<b><i>Effective Sensor Resolution</i></b>	<i>12 Megapixels</i>
<b><i>Media Format</i></b>	<i>Still Photo Resolution</i>
	<i>12MP (Default), Wide, 4000 x 3000</i>
	<i>7MP, Wide, Medium, 3000 x 2250</i>
	<i>5MP, Medium, 2560 x 1920</i>
	<i>Burst Photo</i>
	<i>30 photos/1 second (Default), 30 photos/2 seconds, 30 photos/3 seconds</i>
	<i>10 photos/1 second, 10 photos/2 seconds, 10 photos/3 seconds</i>
	<i>5 photos/1 second</i>
	<i>3 photos/1 second</i>
	<i>Time Lapse</i>
	<i>0.5, 1, 2, 5, 10, 30 and 60 seconds</i>

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Blitar, Provinsi Jawa Timur pada tanggal 2 Oktober 1995, dengan nama Andreas Catur Wibisono. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis adalah pendidikan dasar hingga menengah, yaitu TK Yohanes Gabriel, SD Katolik Yohanes Gabriel Slorok, SMP Negeri 1 Kota Blitar, dan SMA Katolik Diponegoro Kota Blitar. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di

Jurusan Teknik Geomatika – FTSLK ITS, dan terdaftar dengan Nomor Registrasi Peserta (NRP) 03311440000077. Selama perkuliahan penulis pernah aktif dalam beberapa kepanitiaan dan organisasi yaitu KMK ITS, UKM BOLA BASKET, KESMA HIMAGE-ITS, dan Grup Riset PVIA (Photogrammetry, Vision, and Image Analys). Sejalan dengan akademik, penulis pernah melaksanakan kegiatan Survei Foto Format Kecil di Desa Seban, Pasuruan; Kemah Kerja – Pemetaan Hidrografi di Sendang Biru Malang; Pemetaan Hidrografi di Pelabuhan Kamal, Madura; dan Kerja Praktik Aplikasi *Multibeam Echosounder* dan *Magnetometer* di Laut Jawa. Selain itu, penulis juga pernah melaksanakan beberapa proyek baik terestris, digitasi, hidrografi maupun fotogrametri. Untuk kegiatan non-akademik penulis pernah ikut program ITS Goes To Global'Singapore", SPE ITS-Student Chapter. Penulis memilih bidang Marine-Fotogrametri, khusus pada fotogrametri dan 3D Modeling pada obyek di dasar laut untuk

penelitian tugas akhir dengan judul “Aplikasi dari *Underwater Photogrammetry* untuk Pemetaan *Coral Reef Coverage*.”